

Luiza Fert

**ANÁLISE COMPARATIVA DO USO DE DIFERENTES *SOFTWARES*
PARA MODELAGEM DE TRÁFEGO EM INTERSEÇÕES
URBANAS**

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Hering Coelho.

Florianópolis
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC

Fert, Luiza

Análise comparativa do uso de diferentes softwares para modelagem de tráfego em interseções urbanas / Luiza Fert ; orientador, Alexandre Hering Coelho, 2017.
140 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. 2. Engenharia de tráfego. 3. Interseções. 4. Softwares. 5. Modelagem de tráfego. I. Coelho, Alexandre Hering . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. III. Título.

Luiza Fert

**ANÁLISE COMPARATIVA DO USO DE DIFERENTES *SOFTWARES*
PARA MODELAGEM DE TRÁFEGO EM INTERSEÇÕES
URBANAS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 27 de setembro de 2017.

Prof. Dr. Carlos Loch
Coordenador do curso

Banca examinadora:

Prof. Dr. Alexandre Hering Coelho (Orientador)
Universidade Federal de Santa

Prof. Dr. Edésio Elias Lopes
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Jorge Destri Júnior
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a Dra. Liseane Padilha Thives
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

À minha família e ao meu companheiro pelo apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Alexandre por toda a orientação e ensinamentos.

Ao Labtrans pela oportunidade de trabalho como bolsista e a bolsa concedida durante o período de mestrado.

A todos os colegas do Labtrans que tive nesta jornada.

Aos professores da banca examinadora.

Por fim, a todos meus amigos e colegas que contribuíram para este trabalho com convívio, apoio e ensinamentos.

RESUMO

Hoje em dia há diferentes técnicas de modelagem, implementadas em *softwares*, que podem ser utilizadas para modelar o fluxo do tráfego em interseções. Este trabalho tem como objetivo geral comparar a aplicação de diferentes *softwares* para estudo de tráfego em interseções urbanas sob os aspectos de resultados numéricos e de aplicação prática. A comparação é feita entre três *softwares*: o HCS 2010, o Sidra Intersection e o Aimsun. Foram definidos três tipos de interseções para serem modeladas: com definição de prioridade através de placa de pare, semaforizada e rotatória. São apresentados resultados sobre a usabilidade dos *softwares* em relação ao tempo de construção dos modelos, facilidade de modelagem e extração de resultados e sobre resultados quantitativos para as características atraso, comprimento de fila e velocidade. Foi possível concluir que o *software* Sidra Intersection demandou mais tempo, porém, foi o mais fácil em questão de modelagem. O Aimsun foi o menos fácil entre os três e o HCS 2010 foi o que menos demandou tempo. Foi concluído que existem semelhanças entre os resultados numéricos obtidos com os *softwares*, sendo que a característica comprimento de fila foi a que apresentou as menores diferenças entre os resultados analisados.

Palavras-chave: Engenharia de tráfego. Interseções. *Softwares*. Comparação. Modelagem.

ABSTRACT

Nowadays there are different modeling techniques, implemented in softwares, that can be used to model traffic flow in intersections. The main goal of this research is to compare the use of different softwares for traffic study in urban intersections under the aspects of numerical results and practical application. Three softwares are compared: HCS 2010, Sidra Intersection and Aimsun. Three types of intersections were chosen to be modeled: two-way STOP-controlled, signalised and roundabout. Software usability results are presented in relation to model construction time, modeling ease and results extraction time and on quantitative results for the characteristics delay, queue length and speed. It was possible to conclude that Sidra Intersection was the most time demanding software, however, it was the easiest in terms of modeling. Aimsun was the least easy among the three and HCS 2010 was the least time demanding. It was concluded that there are similarities among the numerical results obtained with the softwares, and the characteristic queue length was the one that presented the smallest differences between the analysed results.

Key-words: Traffic engineering. Intersections. Softwares. Comparison. Modeling.

Lista de Figuras

1	Exemplos de interseções	29
2	Exemplo de interseção TWSC	30
3	Pontos de conflitos em interseções	31
4	Gráfico plotado por STANEK (2012) com o máximo fluxo de entrada pelo fluxo conflitante	43
5	Fluxograma do método	50
6	Representação das interseções	52
7	Distribuição dos movimentos na interseção	54
8	Diagrama de estágios	55
9	Apresentação da interface gráfica inicial do HCS	58
10	Modelo de interseção TWSC no HCS	59
11	Janela <i>quick entry</i> para interseção TWSC no HCS	60
12	Seleção do tipo semaforizado no HCS	61
13	Modelo de interseção semaforizada no HCS	62
14	Modelo de interseção rotatória no HCS	63
15	Campos para preenchimento da demanda de uma rotatória no HCS	64
16	Interface gráfica do Sidra Intersection	66
17	Modelo de interseção TWSC no Sidra Intersection	67
18	Definição dos movimentos no Sidra Intersection	68
19	Modelo de interseção semaforizada no Sidra Intersection	69
20	Modelo da rotatória no Sidra Intersection	70
21	Seleção dos parâmetros da rotatória no Sidra Intersection	71
22	Definição dos volumes no Sidra Intersection	72
23	Atualização dos volumes no Sidra Intersection através de API	74
24	Definição dos volumes no Sidra Intersection	75
25	Interface gráfica do Aimsun e barra de ferramentas	76
26	Interseção TWSC desenhada no <i>software</i> Aimsun	77
27	Interseção semafórica desenhada no <i>software</i> Aimsun	78
28	Interseção rotatória desenhada no <i>software</i> Aimsun	79
29	Matriz de Origem e Destino no <i>software</i> Aimsun	80
30	Plano de controle semafórico no <i>software</i> Aimsun	81
31	Relação entre aproximação e volume no HCS 2010	86
32	Movimento <i>Eastbound - Left</i> no HCS 2010	87
33	Apresentação dos resultados no HCS para o modelo de rotatória	89
34	Resultados de atraso para a interseção TWSC sem o volume de 2200 veículos	92
35	Resultados de comprimento de fila para a interseção TWSC	93
36	Resultados de velocidade para a interseção TWSC	94

37	Resultados de atraso para a interseção semaforizada	96
38	Resultados de comprimento de fila para a interseção semaforizada	97
39	Resultados de velocidade para a interseção semaforizada	98
40	Resultados de atraso para a rotatória	99
41	Resultados de comprimento de fila para a rotatória	100
42	Resultados de velocidade para a rotatória	101

Lista de Tabelas

1	Relevância das ferramentas de análise de tráfego para interseções	35
2	Ferramentas de tráfego utilizadas na análise de interseções .	35
3	Critérios para determinação do nível de serviço em interseções TWSC	37
4	Critérios para determinação do nível de serviço em interseções semaforizadas	37
5	Estudos comparativos	40
6	Proporção do volume para os movimentos	44
7	Fluxo de saturação básico para aproximações com largura menor que 5,5 metros	56
8	Tempos do cálculo semafórico	57
9	Comparação entre os <i>softwares</i> em relação à facilidade de modelagem e extração de resultados	90
10	Comparação entre os <i>softwares</i> em relação ao tempo demandado de modelagem e extração de resultados	91
11	Resultados de atraso para a interseção TWSC e diferenças nos valores entre os <i>softwares</i>	105
12	Resultados de comprimento de fila para a interseção TWSC e diferenças nos valores entre os <i>softwares</i>	106
13	Resultados de velocidade para a interseção TWSC e diferenças nos valores entre o Sidra Intersection e Aimsun	107
14	Resultados de atraso para a interseção semaforizada e diferenças nos valores entre os <i>softwares</i>	108
15	Resultados de comprimento de fila para a interseção semaforizada e diferenças nos valores entre os <i>softwares</i>	109
16	Resultados de velocidade para a interseção semaforizada e diferenças nos valores entre o Sidra Intersection e Aimsun .	110
17	Resultados de atraso para a rotatória e diferenças nos valores entre os <i>softwares</i>	111
18	Resultados de comprimento de fila para a rotatória e diferenças nos valores entre os <i>softwares</i>	112
19	Resultados de velocidade para a rotatória e diferenças nos valores entre o Sidra Intersection e Aimsun	113

Sumário

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	19
1.1.1	Objetivo geral	19
1.1.2	Objetivos específicos	19
1.2	JUSTIFICATIVA	19
1.3	LIMITAÇÕES	20
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	CARACTERÍSTICAS DO FLUXO DE TRÁFEGO	21
2.2	MODELAGEM DE TRÁFEGO	25
2.2.1	Técnicas de modelagem	26
2.3	INTERSEÇÕES	28
2.3.1	Interseções com definição de prioridade	29
2.3.2	Interseções semaforizadas	32
2.4	FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE TRÁFEGO	34
2.4.1	HCM 2010	36
2.4.2	Sidra Intersection	38
2.4.3	Aimsun	38
2.5	ESTUDOS COMPARATIVOS	39
3	MÉTODO	49
3.1	DEFINIÇÃO DAS INTERSEÇÕES ESTUDADAS	50
3.1.1	Infraestrutura	51
3.1.2	Demanda	52
3.1.3	Sistema de controle	54
3.2	MODELAGEM NO HCS 2010	58
3.2.1	Infraestrutura	58
3.2.2	Demanda	63
3.2.3	Sistema de Controle	64
3.3	MODELAGEM NO SIDRA INTERSECTION	65
3.3.1	Infraestrutura	65
3.3.2	Demanda	72
3.3.3	Sistema de Controle	74
3.4	MODELAGEM NO AIMSUN	75
3.4.1	Infraestrutura	75
3.4.2	Demanda	79
3.4.3	Sistema de Controle	80
3.5	Extração de resultados e estruturação da análise comparativa	81

4	RESULTADOS	85
4.1	Tempo de construção dos modelos	85
4.2	Facilidade de modelagem	85
4.3	Facilidade de extração dos resultados numéricos	89
4.4	Resumo dos resultados qualitativos	90
4.5	Resultados quantitativos	91
5	CONCLUSÕES	115
	Referências	119
A	Scripts	123
A.1	Script para calcular a semaforização	123
A.2	Script HCS 2010 TWSC	125
A.3	Script Aimsun TWSC	127
A.4	Script Aimsun interseção semaforizada	131
A.5	Script Aimsun Rotatória	136

1 INTRODUÇÃO

Regiões urbanas possuem sistemas viários compostos por diversos elementos e devem permitir que os veículos e outros usuários da via, como ciclistas e pedestres, trafeguem com segurança e fluidez. O alto número de veículos privados nos grandes centros urbanos e a falta de manutenção e adequação da infraestrutura viária para este volume faz com que os tempos de viagem e atrasos sejam cada vez maiores, provocando congestionamentos e o surgimento de gargalos, frequentemente localizados em interseções.

Esta situação evidencia a necessidade da realização de estudos e análises de planejamento e operação dos sistemas viários, que consideram a demanda atual e projeções desta demanda para anos futuros. Para realizar estes estudos, é possível recorrer ao uso de modelos que representam uma situação real para identificar congestionamentos e outros problemas operacionais.

A modelagem de tráfego iniciou na década de 1930 nos Estados Unidos, entretanto, o campo recebeu atenção a partir da década de 1990, quando a demanda de tráfego aumentou e mais dados ficaram disponíveis, bem como o acesso ao poder de processamento (TREIBER; KESTING, 2013). Os modelos de tráfego podem auxiliar no projeto e na operação em sistemas de tráfego, uma vez que são capazes de prever, sob um determinado conjunto de características, as condições de operação em situações futuras (ELEFTERIA-DOU, 2014). Os modelos de tráfego podem ainda auxiliar a avaliar sistemas existentes e no desenvolvimento de prioridades para melhoramentos.

As técnicas de modelagem são desenvolvidas com características visando diferentes tipos de análise, sendo que elas só são úteis se forem escolhidas e utilizadas corretamente pelo profissional. O uso de ferramentas de análise de tráfego está sujeito a desafios e limitações, como a disponibilidade de dados de qualidade, tempo, coleta de dados, treinamento de pessoal e recursos financeiros (FHWA, 2004a).

As interseções de tráfego são pontos no sistema viário onde existe conflito de passagem entre os usuários da via. Elas têm como objetivo fornecer uma área que promova a segurança e facilite a movimentação dos veículos, ciclistas e pedestres que cruzam por ela. As interseções são pontos críticos em malhas viárias em relação ao nível de segurança e ao escoamento do tráfego (MACEDO; BENTA, 2013).

Para atingir seu objetivo, as interseções necessitam ser dimensionadas para acomodar veículos de diferentes tamanhos, promover boa visibilidade aos motoristas e pedestres e direcionar o tráfego conflitante através de regras de prioridade. O dimensionamento deve levar em consideração características do relevo local e da demanda.

Por provocarem interrupções no fluxo de tráfego, as interseções cau-

sam atrasos, ou seja, devido ao conflito com outros veículos, pedestres e regras de prioridade, o tempo que um motorista levaria para percorrer uma distância passa a ser maior do que se não existissem obstáculos. Se a demanda for próxima à capacidade que a interseção tem para acomodar veículos em um período de tempo, os atrasos passam a ser maiores ainda, causando congestionamentos. Novamente a importância do uso da modelagem de tráfego como ferramenta para analisar, prever e evitar atrasos e congestionamentos é evidenciada.

Através de pesquisas na literatura, foram identificados modelos e *softwares* que são utilizados na análise de interseções e estão disponíveis no mercado. Além dos modelos, foram levantados os tipos de interseções existentes e quais as características analisadas em estudos comparativos. Os modelos de análise mais utilizados são os analíticos e de microssimulação. Tendo conhecimento destas informações, foram selecionadas três ferramentas para realizar a análise comparativa deste trabalho, sendo elas o método HCM 2010, implementado através do *software* HCS 2010, o *software* Sidra Intersection e o microssimulador Aimsun.

O método analítico do HCM 2010 (TRB, 2010a) é amplamente utilizado por profissionais de engenharia no Brasil e internacionalmente e é considerado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) (DNIT/IPR, 2005) como “o documento técnico mais consagrado” para estimar a capacidade de interseções.

O Sidra Intersection é um *software* micro analítico e possui uma metodologia própria, desenvolvida na Austrália para analisar interseções, tendo implementado também metodologias do HCM 2010. Seu uso é relatado em diversos estudos encontrados na literatura e reportados neste trabalho.

O Aimsun é um microssimulador desenvolvido na Espanha e tem sido comercializado deste 1997, com seu uso consolidado no mercado. As três ferramentas foram escolhidas por estarem de acordo com as técnicas encontradas na literatura e pela disponibilidade das licenças para serem utilizadas neste trabalho no Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Em estudos encontrados na literatura sobre a aplicação e comparação dos modelos analíticos e de microssimulação, são comparadas a simplicidade de operação das ferramentas, erro dos resultados em relação aos dados coletados em campo, diferenças entre o desenvolvimento dos modelos e calibração dos modelos. Sobre os tipos de interseção, são mais frequentes as interseções semaforizadas e rotatórias. Os estudos são realizados com interseções reais e dados de demanda coletados em campo e com interseções e demandas fictícias, onde os volumes de veículos e proporção de conversões são variados. Entre as saídas analisadas, o atraso é a principal característica estudada,

seguida pelo comprimento de fila e a capacidade.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é comparar a aplicação de diferentes *softwares* para estudo de tráfego em interseções urbanas sob os aspectos de resultados numéricos e de aplicabilidade prática em projetos de engenharia.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Estudar diferentes modelagens existentes, encontrando parâmetros comuns nos modelos, sobre os quais possam ser feitas comparações;
- Determinar características de interseções urbanas para serem utilizadas como dados de entrada em diferentes modelos de análise de interseções;
- Obter informações que facilitem a escolha de ferramentas para modelagem de interseções em termos de facilidade de uso, volume de dados de entrada necessários e tempo demandado;
- Comparar os resultados numéricos obtidos com cada *software* e identificar se existem semelhanças entre eles.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo FHWA (2005) a eficácia de uma interseção tem grande influência no nível de serviço em vias urbanas. Por este motivo é importante que os profissionais de engenharia tenham conhecimento e acesso a ferramentas para realizar estudos sobre interseções.

De acordo com ORTUZAR; WILLUMSEN (2001) o advento da informática com baixo custo e alta velocidade praticamente eliminou os gargalos computacionais na modelagem de transportes, de forma que as principais limitações no planejamento de transporte são humanas e técnicas. Esta informação coloca em evidência a necessidade da elaboração de guias e documentos técnicos para auxiliarem os profissionais.

Os principais documentos do DNIT que guiam estudos de tráfego e interseções são o Manual de Estudos de Tráfego (DNIT/IPR, 2006) e o Manual de Projeto de Interseções (DNIT/IPR, 2005). Porém, estes manuais não trazem informações sobre a aplicação de *softwares* para a realização dos estudos de operação e planejamento. Ferramentas de análise de tráfego sozinhas não são os únicos componentes do processo de tomada de decisão, entretanto elas tem um papel importante no entendimento e avaliação das alternativas

(VDOT, 2013). Além do conhecimento de cada ferramenta, os engenheiros de tráfego devem escolher a ferramenta mais apropriada para cada situação.

No Brasil existe uma carência de documentos acadêmicos sobre a aplicação prática e comparação entre as ferramentas existentes para análise de interseções. Este trabalho apresenta algumas ferramentas disponíveis e compara elas, trazendo informações de aplicação para auxiliar na escolha de uma ferramenta para modelar interseções.

1.3 LIMITAÇÕES

Para desenvolver este trabalho foram impostas as seguintes limitações:

- As interseções selecionadas para serem modeladas nos *softwares* são fictícias.
- A demanda utilizada nas interseções é fictícia.
- No fluxo são utilizados apenas veículos de passeio, desconsiderando veículos pesados e motos.
- Não é considerado fluxo de pedestres.
- O fator hora de pico (FHP) é considerado 1.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, onde:

- O Capítulo 1, denominado Introdução, apresenta os objetivos geral e específicos e a justificativa deste trabalho.
- O Capítulo 2 é a Revisão Bibliográfica realizada para dar embasamento teórico à este trabalho. Neste capítulo são apresentados conceitos sobre características do fluxo de tráfego, modelagem, interseções, ferramentas de análise e alguns estudos comparativos.
- O Capítulo 3 descreve o método utilizado neste trabalho.
- O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos através da aplicação do método.
- O Capítulo 5 apresenta as conclusões.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seção 2.1 inicia a revisão bibliográfica apresentando conceitos sobre o fluxo de tráfego para que o leitor se familiarize com as características mais importantes em uma análise de tráfego. São apresentadas características relevantes para a determinação da demanda para modelagem nas ferramentas escolhidas.

Na sequência, a seção 2.2 descreve um modelo de tráfego e técnicas de modelagem disponíveis que auxiliaram na escolha dos modelos e técnicas utilizados neste trabalho.

A seção 2.3 apresenta o conceito de interseções, sua função no desenvolvimento do tráfego, tipos de interseção e quando cada uma é recomendada. Estas descrições auxiliaram na escolha dos tipos de interseção selecionados para este trabalho.

A seção 2.4 traz uma breve descrição sobre ferramentas de análise tráfego e apresenta as ferramentas que são utilizadas para desenvolver o método deste trabalho.

Por fim, a seção 2.5 apresenta estudos comparativos entre técnicas de modelagem, análise de interseções e escolha de demanda em estudos que auxiliaram na definição dos tipos de interseção, *softwares* e demanda deste trabalho.

2.1 CARACTERÍSTICAS DO FLUXO DE TRÁFEGO

Para analisar e compreender o desenvolvimento do tráfego, bem como o comportamento dos condutores em vias e interseções, é necessário ter conhecimento das características básicas do fluxo de tráfego e suas classificações.

O objetivo da teoria do fluxo de tráfego é avaliar a qualidade operacional de uma corrente de tráfego em relação à um conjunto de condições predominantes (ELEFTERIADOU, 2014). Ainda segundo a autora, a teoria do fluxo de tráfego se relaciona principalmente à fase de operação, mas os métodos e ferramentas podem ser aplicados à análise de transportes em geral. A teoria do fluxo de tráfego aplica formulações matemáticas, teoria das probabilidades e da física para descrever o comportamento do tráfego de veículos no sistema viário (MAIA, 2007).

O fluxo de tráfego pode ser estudado macroscopicamente através de uma abordagem agregada e análoga à hidrodinâmica, considerando o fluxo de tráfego como um processo fluido (BARCELÓ, 2010).

A Equação 1 é a equação fundamental da teoria do fluxo de tráfego, similar à equação da continuidade da hidrodinâmica. Ela assume que entre dois pontos em um trecho de via sem entradas e saídas, o número de veículos é conservado. Ela descreve a evolução tempo-espaço das variáveis fluxo, velocidade e densidade, definidas em qualquer instante t e em qualquer ponto

x no espaço. Ela é complementada pela relação fundamental apresentada na Equação 2 (BARCELÓ, 2010).

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial k}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$q(x, t) = k(x, t) \times v(x, t) \quad (2)$$

onde:

$k(x, t)$ = densidade (veic/km);

$q(x, t)$ = fluxo (veic/h);

$v(x, t)$ = velocidade (km/h).

O DNIT/IPR (2006) considera o volume, a velocidade e a densidade de veículos como as características fundamentais do aspecto dinâmico do tráfego.

O volume e o fluxo de tráfego quantificam o número de veículos que passam por um ponto da via, sendo que o volume é número de veículos passantes neste ponto em um intervalo de tempo e o fluxo é a taxa de veículos passantes por um ponto, de forma que os veículos são quantificados para um intervalo de tempo (geralmente 15 minutos) e transformados em um valor equivalente para uma hora (TRB, 2010a).

Para estudos de tráfego de uma grande área e que visam planejamento, é possível utilizar um Volume Médio Diário (VMD), em veículos por dia, sendo o mais utilizado o anual, denominado VMDa, que é definido pelo número total de veículos que trafegam em um ano dividido por 365. Em análises que consideram a variação do tráfego durante as horas do dia e procuram a hora com maior volume é utilizado o Volume Horário (VH), que é o número total de veículos em uma determinada hora (DNIT/IPR, 2006). Para análise de capacidade e nível de serviço de uma via específica e interseções é utilizado sempre o volume da hora pico, logo, são necessários dados de variação de volume horário ao longo do dia.

Além das variações ao longo das horas do dia, existem variações do volume de tráfego dentro de cada hora. Para representar a uniformidade do fluxo dentro da hora de análise é determinado o fator horário de pico (FHP), apresentado na Equação 3 (DNIT/IPR, 2006). Apesar de sua denominação, o FHP pode ser determinado para qualquer hora de análise, sem ser a hora de pico (TRB, 2010a). Para obter este fator, é necessário que as contagens volumétricas sejam realizadas com agregação temporal de 15 em 15 minutos.

$$FHP = \frac{V_{hp}}{4 \times V_{15max}} \quad (3)$$

onde:

FHP = fator horário de pico;

V_{hp} = volume da hora de pico (veic/h);

$V15max$ = volume de tráfego do período de quinze minutos mais carregado dentro da hora de pico (veic/15min).

Velocidade é a relação entre a distância percorrida por um veículo e o tempo gasto para percorrê-la. A velocidade pode ser aplicada através de diferentes parâmetros dependendo das condições de medição e do tipo de tempo utilizado, exemplificadas em DNIT/IPR (2006) como:

- Instantânea: velocidade de um veículo em um instante t , em um trecho com comprimento tendendo a zero.
- Pontual: velocidade instantânea de um veículo em um determinado ponto da via.
- Média temporal: é a média das velocidades pontuais dos veículos que passam por um ponto da via, durante intervalos de tempos finitos.
- Média espacial: velocidade em um trecho da via, obtida pela razão do comprimento de trecho pelo tempo médio gasto para percorrê-lo.

A densidade é o número de veículos que ocupam um trecho da via em um determinado instante, apresentada como veículos por quilometro. Apesar da dificuldade de medir a densidade em campo, em condições de tráfego não saturado ela pode ser calculada através da Equação 4 (TRB, 2010a), que é análoga à Equação 2.

$$k = \frac{q}{\bar{v}_s} \quad (4)$$

onde:

k = densidade (veic/km);

q = fluxo (veic/h);

\bar{v}_s = velocidade média espacial (km/h).

Em relação aos tipos de fluxo de tráfego, o TRB (2010a) classifica o fluxo como ininterrupto e interrompido. No fluxo ininterrupto as vias não possuem atrasos causados por interrupções como semáforos, os acessos são controlados e ocorrem através de rampas, assim a corrente de tráfego é caracterizada pela interação dos veículos e pela geometria da via e do terreno em que ela se encontra e possíveis interferências causadas por vias exclusivas para veículos pesados e ônibus ou incidentes de tráfego. Já o fluxo interrompido é definido por ter atrasos periódicos nas vias causados por semáforos e sinalizações de “pare” e “dê a preferência”, de forma que a corrente de tráfego é caracterizada, além dos fatores das vias de fluxo ininterrupto, pelo tipo de controle tráfego usado nas interseções e a quantidade de acessos na via.

Em sistemas com fluxos interrompidos, o atraso é considerado uma importante medida de desempenho. Existem diversos tipos de atraso, sendo

que o TRB (2010a) considera o atraso de controle, causado por sistemas de controle, a principal medida para avaliar o nível de serviço em interseções. Este atraso considera também atrasos causados pela desaceleração dos veículos que se aproximam da interseções, o tempo parado nelas como fila e o tempo necessário para acelerar até a velocidade desejada.

O TRB (2010a) apresenta também os tipos:

- Atraso geométrico: causado por características geométricas que fazem com que veículos diminuam sua velocidade, como por exemplo a deflexão causada por uma rotatória.
- Atraso por incidente: tempo de viagem adicional causado por algum incidente na via.
- Atraso de tráfego: provocado pela interação entre os veículos, que faz com que os motoristas reduzam sua velocidade.
- Atraso total: é a soma dos atrasos de controle, geométrico, por incidente e de tráfego.

Ainda relacionados ao fluxo, podem ser considerados os parâmetros de *headway*. *Headway* temporal e *headway* espacial são características microscópicas, pois consideram os veículos individualmente dentro da corrente de tráfego (TRB, 2010a).

Headway espacial (ou espaçamento) é a distância entre dois veículos consecutivos na via, medida entre pontos de referência comum, geralmente o para-choque dianteiro ou traseiro de cada veículo. *Headway* temporal é o intervalo de tempo entre a passagem de dois veículos sucessivos por um determinado ponto (DNIT/IPR, 2006). A abordagem microscópica do fluxo de tráfego é baseada na descrição dos movimentos de cada veículo que compõe a corrente de tráfego (BARCELÓ, 2010). A teoria do fluxo de tráfego microscópico utiliza teorias de perseguição de veículos, aceleração, troca de faixa e aceitação de brechas (MAIA, 2007), utilizadas na modelagem microscópica, descrita na subseção 2.2.1.

Para obter os dados necessários em um estudo de tráfego são realizadas pesquisas para coletar dados. As pesquisas podem ser de origem e destino, realizadas através de entrevistas ou identificação de placa, e levantamento do volume de veículos através de contagens, que são feitas manual ou automaticamente. As contagens podem ser globais, quando o número de veículos em um trecho da via é registrado sem considerar o sentido em que estão, direcionais, onde o número de veículos é registrado por sentido do fluxo, e classificatórias, quando o volume é registrado distinguindo os tipos e classes de veículos.

2.2 MODELAGEM DE TRÁFEGO

Através da modelagem do comportamento do fluxo de tráfego na infraestrutura viária é possível analisar seu desempenho e avaliar o impacto de políticas e estratégias de controle (PORTUGAL, 2005).

ORTUZAR; WILLUMSEN (2001) apresentam a definição de que um modelo é “uma representação simplificada de parte do mundo real - sistema de interesse - que se concentra em certos elementos considerados importantes para sua análise de um ponto de vista particular”. De acordo com PORTUGAL (2005), um modelo é composto “por um conjunto de relações lógico-matemáticas, descritas geralmente por um programa de computador, e pode ser definido como uma abstração de um sistema real que será utilizado com o objetivo de previsão ou controle”.

Para RMS (2013), todos os modelos de tráfego devem possuir um escopo bem definido antes da execução da modelagem, e devem incluir pelo menos os itens:

- Extensão geográfica;
- Abrangência temporal;
- Coleta de dados;
- Requerimentos de calibração e validação;
- Desenvolvimento futuro da rede de análise;
- Teste de alternativas;
- Dados de saída requeridos.

Ao definir estes itens, o profissional saberá quais são as necessidades e limitações do modelo, o que permite avaliar se este é apropriado para situações específicas. Em relação à análise de operações, cada modelo utilizado tem seus pontos positivos e negativos, sendo que um modelo será apenas tão preciso quanto os dados de entrada utilizados (VDOT, 2013).

Motoristas de diferentes localidades tem estilos de condução diferentes e estão sujeitos à diferentes regulamentações do tráfego e veículos, o que significa que os modelos necessitam ser adaptados para as situações que estão descrevendo através de variações de seus parâmetros (TREIBER; KESTING, 2013), este procedimento é denominado calibração. A definição de calibração segundo os autores é “a estimação de parâmetros para maximizar o poder descritivo dos modelos para reproduzir o comportamento do motorista local e/ou características coletivas de tráfego-fluxo”. Este é um passo crítico na construção dos modelos e é frequentemente negligenciado (GAGNON et al., 2008), prejudicando a precisão dos mesmos.

Após um modelo ser calibrado, deve ser realizada uma verificação para garantir que este passo foi bem sucedido, este procedimento é denominado validação. Segundo TREIBER; KESTING (2013), a validação é “o processo de determinação da confiabilidade de um modelo” e retrata o grau de pre-

cisão da representação do mundo real. Critérios de validação são utilizados para demonstrar que os resultados de um modelo correspondem, com uma tolerância aceitável, aos dados coletados (SMITH; BLEWITT, 2010).

Para TREIBER; KESTING (2013) os modelos de tráfego podem ser categorizados em relação aos aspectos de nível de agregação, estrutura matemática e aspectos conceituais. Em relação aos níveis de agregação um modelo pode ser macroscópico (com as variáveis locais agregadas), mesoscópicos e microscópicos (variáveis desagregadas), descritos com mais detalhes na subseção 2.2.1.

2.2.1 Técnicas de modelagem

ESPADA; LUK; LLOYD (2010) separam as técnicas de modelagem de tráfego em dois grandes grupos: modelagem analítica e simulação. PORTUGAL (2005) também apresenta esta separação das técnicas de modelagem em analítica e simulação.

Segundo PORTUGAL (2005), na abordagem analítica é pressuposto um comportamento estático em relação ao tempo e um mesmo *input* de dados sempre apresenta um único resultado. A modelagem analítica utiliza equações derivadas de suposições teóricas do comportamento do tráfego ou de equações calibradas através de observações de campo (ESPADA; LUK; LLOYD, 2010). Ainda segundo os autores, é possível fazer a seguinte diferenciação:

- Modelos analíticos macroscópicos: utilizados para prever os impactos de padrões de viagens a nível de região. Para prever a demanda e os padrões de viagem é frequente a utilização do modelo quatro etapas, que possui os componentes geração de viagens, distribuição de viagens, divisão modal e alocação.
- Modelos analíticos microscópicos: utilizados para prever e estimar indicadores de desempenho em locais específicos, como interseções. São baseados em equações sobre o comportamento dos condutores, relações teóricas como modelos de análise de filas e fórmulas sobre atraso, e em fórmulas empíricas derivadas de relações entre velocidade, fluxo e densidade.

PORTUGAL (2005) destaca entre as técnicas analíticas disponíveis as técnicas determinísticas, programação matemática, teoria de filas e inteligência artificial.

A simulação é uma técnica que representa um sistema real através de um modelo computacional e assume que este sistema evolui ao longo do tempo (BARCELÓ, 2010). Simulações de tráfego tem como objetivo reproduzir a interação entre veículos e pedestres com a infraestrutura em uma rede viária em condições específicas de fluxo.

Os modelos de simulação são classificados de acordo com seu nível de detalhes, sendo macroscópicos, microscópicos ou mesoscópicos (VILARINHO, 2008).

Modelos macroscópicos de simulação de tráfego tem um baixo nível de detalhes e descrevem o tráfego com alto nível de agregação, não distinguindo as partes que o compõe (VILARINHO, 2008). Ações como mudança de faixa não são consideradas e é realizada uma análise integrada das correntes de tráfego e as relações entre as variáveis fluxo, densidade e velocidade (VASCONCELOS, 2004).

Os modelos microscópicos de simulação consideram os veículos e suas interações com a infraestrutura das vias individualmente (BURGHOUT, 2005). Eles utilizam três principais modelos de algoritmos para simular os movimentos dos veículos na rede, sendo eles o modelo de perseguição de veículos (*car following*), troca de faixa (*lane changing*) e aceitação de brecha (*gap acceptance*) (JONES; SULLIVAN; ANDERSON, 2004).

O modelo de perseguição de veículos (*car-following*) gera a resposta de um condutor em relação ao veículo que está a sua frente (VASCONCELOS, 2004). Ele determina como os veículos interagem uns com os outros e como eles se distribuem na corrente de tráfego, determinando o espaçamento entre os veículos (*headway* espacial) (JONES; SULLIVAN; ANDERSON, 2004).

O modelo de troca de faixa (*lane changing*) trata dos movimentos de mudança de faixa, determinando a possibilidade e a motivação dos condutores para os movimentos serem realizados. Ele é desenvolvido de acordo com a necessidade da mudança de faixa para mudar de direção (manobra obrigatória) ou para o aumento da velocidade (manobra opcional) (VASCONCELOS, 2004).

Os modelos de aceitação de brechas (*gap-acceptance*) controlam como os veículos fazem conversões para entrar ou atravessar correntes de tráfego (JONES; SULLIVAN; ANDERSON, 2004), determinando condições mínimas necessárias para um veículo inserir-se em uma corrente de tráfego (SILVA et al., 2013), assim proporcionando segurança nos movimentos dos veículos em relação ao intervalo de tempo e espaço disponível.

Com a microssimulação é possível criar um modelo virtual que representa o movimento individual dos veículos em um sistema de tráfego e construir cenários para avaliar o comportamento do tráfego em alterações propostas na infraestrutura viária previamente à sua construção física (MACEDO; BENTA, 2013). A construção do modelo leva em consideração características relevantes para a representação da malha a ser estudada e a partir desta abordagem é possível analisar cenários com um nível elevado de detalhes e representar a malha viária a ser estudada de forma mais precisa que em mo-

delos macroscópicos.

A microssimulação pode ser aplicada em área pequenas e interseções, como é o caso deste trabalho, ou em regiões inteiras. O tamanho do modelo será definido pela necessidade do usuário e o volume de dados necessários para produzir uma simulação com características o mais semelhantes à realidade possível (SMITH; BLEWITT, 2010).

Os modelos mesoscópicos possuem características intermediárias entre os modelos macroscópicos e microscópicos. Eles descrevem as entidades de tráfego com alto nível de detalhes, mas as suas interações e comportamentos são menos detalhadas (BURGHOUT, 2005), desta maneira é possível descrever os veículos individualmente, porém, sem detalhar seu comportamento ao longo do tempo e do espaço (VILARINHO, 2008).

2.3 INTERSEÇÕES

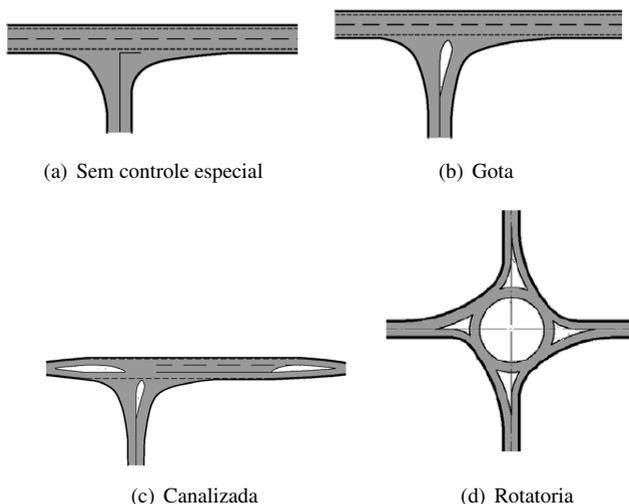
O DNIT/IPR (2005) define interseções como a área onde duas ou mais vias se interceptam, se cruzando ou se unindo e o espaço necessário para que os veículos que circulam por elas executem seus movimentos. O objetivo principal do projeto de uma interseção é facilitar a eficiência na movimentação dos veículos, pedestres e bicicletas e sua segurança (FHWA, 2005).

As interseções podem ser divididas em grupos de acordo com o plano em que os movimentos são realizados, em nível e em desnível (DNIT/IPR, 2005). Em desnível os movimentos principais são realizados em planos diferentes. Interseções em desnível são mais seguras que em nível, pois quando não há trocas de fluxos entre as rodovias que se interceptam os movimentos conflitantes são eliminados completamente e em casos onde há trocas, estas são realizadas através de ramos e interconexões que facilitam a entrada dos veículos na corrente de tráfego.

O DNIT/IPR (2005) classifica também as interseções em nível em relação ao número de aproximações e às soluções adotadas, que podem ser mínimas (sem nenhum controle especial), gota e canalizada (sua geometria define os movimentos dos veículos) e rotatórias. A Figura 1 exemplifica a configuração destas soluções.

Como controle de sinalização e direito de passagem, as interseções podem ter apenas sinalização horizontal e vertical de definição de prioridade, como é o caso de interseções em “T”, cruzamentos com quatro aproximações, denominados em TRB (2010b) como *two-way STOP-controlled* (TWSC) e *all-way STOP-controlled* (AWSC) e rotatórias que utilizam regras como “dê a preferência”, ou terem controle semaforico, denominadas semaforizadas. Estas interseções são descritas na sequência.

Figura 1: Exemplos de interseções



(a) Sem controle especial

(b) Gota

(c) Canalizada

(d) Rotatoria

Fonte: DNIT/IPR (2005), adaptada pela autora

2.3.1 Interseções com definição de prioridade

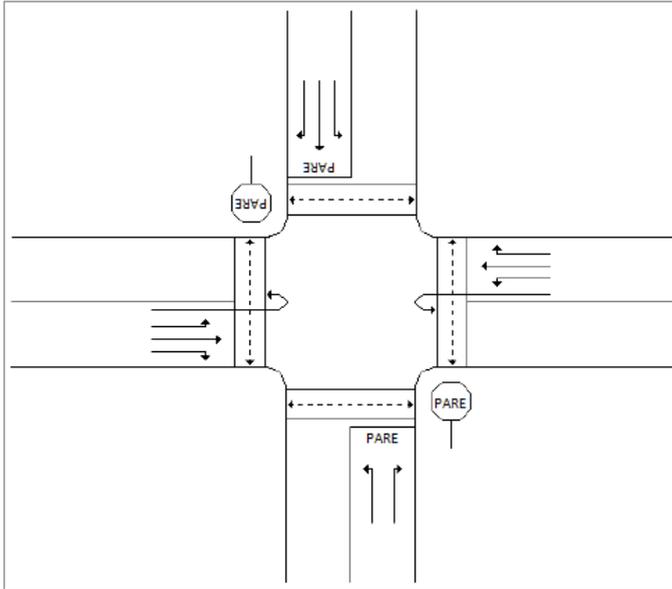
As interseções com definição de prioridade são formadas por duas ou mais vias de mesmo nível, em que uma das vias tem prioridade pelas outras, as quais são controladas por sinalização vertical e horizontal, indicando que os movimentos destas vias devem ceder passagem aos movimentos da via prioritária (PAIVA, 2012).

As interseções em “T”, ou interseções com três ramos como denominadas em DNIT/IPR (2005), tem o formato sugerido em seu nome e podem ter diferentes configurações de acordo com cada solução adotada, como apresentado na Figura 1 a, b e c. A solução e o design adotados irão variar de acordo com a prioridade definida para as conversões permitidas, que dependem da rota que possui o maior fluxo de veículos.

Interseções *two-way STOP-controlled* (TWSC) são cruzamentos entre uma via principal e uma via secundária, onde os motoristas que estão na preferencial mas desejam virar à esquerda devem esperar uma brecha no fluxo de veículos contrário e os que estão na via secundária e desejam entrar na via principal devem respeitar sinalizações de “pare” (TRB, 2010a). Este tipo de interseção favorece o fluxo de veículos da via principal, de forma que o menor fluxo, que geralmente ocorre na via secundária, sofra um maior atraso, permitindo que o fluxo da via principal possa ser realizado sofrendo menos atrasos

e com segurança, por ser preferencial. A Figura 2 apresenta um exemplo de uma interseção TWSC.

Figura 2: Exemplo de interseção TWSC



Fonte: PAIVA (2012), adaptada pela autora.

Em interseções *all-way STOP-controlled* (AWSC) todas as aproximações possuem sinalização de “pare”, de forma que a decisão de prosseguir fica a critério do motorista, que deve dar preferência ao veículo que se encontra à sua direita (TRB, 2010a). Interseções com estas características são indicadas para locais com baixo fluxo de veículos, tendo em vista que ambas as vias sofrem atrasos devido às regras de preferência e os motoristas dependem de brechas no fluxo para atravessar em segurança.

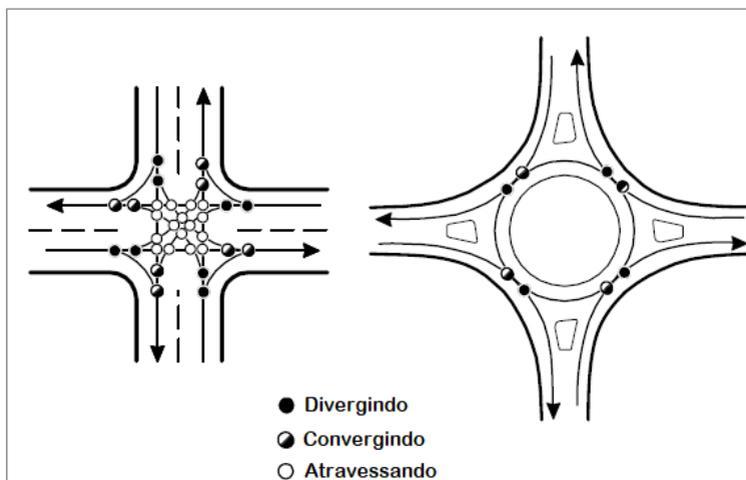
As rotatórias, também denominadas como rótulas, são interseções circulares de mão única em que o tráfego circula no sentido anti-horário em torno de uma ilha central (RODEGERDTS et al., 2010). O controle é realizado através de sinalização vertical ou horizontal e em alguns casos por ilhas canalizadoras. As rotatórias possuem baixo valor e menor tempo de implantação se comparadas à interseções em desnível.

O DNIT/IPR (2005) diferencia as rotatórias como “convencionais” quando os ramos de acesso têm preferência em relação ao que vem pela pista rotatória, e como “modernas”, onde a prioridade é do tráfego que circula na

rotatória, configuração predominante encontrada em áreas urbanizadas. Elas são também classificadas de acordo com sua dimensão, variando entre “mini-rotatórias” com ilha central de até 15m de diâmetro, “compactas” com diâmetros de 30 a 35m e “grandes” com diâmetros de até 150m. O diâmetro da ilha central influencia na velocidade dos veículos através da deflexão causada pela mesma. O DER-SC (2000) recomenda que, fora de áreas urbanizadas, as estradas principais sejam conduzidas com preferência, desta maneira utilizando a configuração de uma rotatória convencional.

Se a rotatória for projetada corretamente, a deflexão causada pelo desenho da ilha central forçará o motorista a trafegar por ela em uma velocidade relativamente baixa, permitindo que ele reconheça a situação dos veículos adjacentes e reaja a eles de forma segura. Sua geometria também faz com que o número de pontos de conflitos entre os veículos seja menor. A Figura 3 mostra que, em uma rotatória com quatro ramos, o número de conflitos entre os veículos é quatro vezes menor que em uma interseção convencional com o mesmo número de ramos.

Figura 3: Pontos de conflitos em interseções



Fonte: RODEGERDTS et al. (2010), adaptada pela autora.

Existem ainda combinações de rotatórias com semáforos. Apesar de ser uma combinação incomum, ela auxilia na acomodação de altos fluxos de tráfego. Em grandes rotatórias, com diâmetro inscrito superior a 50 metros e pista dupla, é possível acomodar de 50.000 a 60.000 veículos por dia (BRILON, 2014).

2.3.2 Interseções semaforizadas

Interseções semaforizadas possuem controle semafórico, que é realizado através de sinais luminosos que indicam o direito de passagem de acordo com sua cor, com o objetivo de evitar o conflito de fluxos entre veículos, pedestres e ciclistas ou indicar situações de advertência (CONTRAN, 2014). A implantação de semáforos é justificada quando há um grande fluxo de veículos em todas as vias que se interceptam, dificultando a passagem de pedestres e com poucas brechas para que os veículos atravessem a interseção com segurança.

O foco dos sinais luminosos e símbolos presentes neles, utilizados em caso de indicação de sentido de direito de passagem ou com desenhos de bonecos para pedestres e bicicletas para ciclistas, devem seguir as recomendações do CONTRAN (2014), sendo que a cor verde indica a permissão do direito de passagem, a cor amarela indica o término deste direito e a cor vermelha indica a proibição do direito de passagem. Amarelo intermitente adverte situações perigosas ou obstáculos.

Elementos básicos da sinalização semafórica podem ser descritos como (CONTRAN, 2014):

- Grupo de movimentos: movimentos de uma aproximação que recebem o direito de passagem simultaneamente;
- Estágio: intervalo de tempo em que um ou mais grupos de movimentos recebem simultaneamente o direito de passagem;
- Ciclo: sequência completa dos estágios da sinalização semafórica;
- Plano semafórico: conjunto de elementos que caracterizam a programação semafórica em um período do dia.

Para dimensionar semáforos isolados e determinar os tempos de ciclo e de verde são necessários alguns passos descritos na sequência e presentes em CONTRAN (2014). Inicialmente deve ser calculado o fluxo de saturação para cada aproximação da interseção, que corresponde ao produto do fluxo de saturação básico por fatores de ajuste.

Os procedimentos para o cálculo do valor do fluxo de saturação apresentados pelo CONTRAN (2014) seguem as recomendações apresentadas no HCM 2000 (TRB, 2000), onde o fluxo de saturação básico é de 1900 veic/h/faixa, em caso de múltiplas faixas, este valor deverá ser multiplicado pelo número de faixas. São apresentados diversos fatores de ajustes que serão utilizados de acordo com cada caso. Alguns destes fatores são: ajuste para conversões à direita e à esquerda, greide da aproximação, presença de estacionamentos, paradas de ônibus, etc.

Após obtido o valor do fluxo de saturação, é possível calcular a taxa de ocupação para cada aproximação com a Equação 5:

$$y_i = \frac{q_i}{S_i} \quad (5)$$

onde:

y_i = taxa de ocupação para a aproximação i ;

q_i = demanda para a aproximação i (veic/hora);

S_i = fluxo de saturação para a aproximação i (veic/h).

Em cada estágio existe um grupo de movimentos críticos, os quais apresentam a maior taxa de ocupação entre todos os movimentos que recebem verde neste estágio. As taxas de ocupação dos movimentos críticos são utilizadas para calcular os tempos de ciclo e de verde.

Para que o tempo de espera seja mínimo, o tempo de ciclo ótimo é calculado utilizando o Método de Webster, descrito em CONTRAN (2014), que pressupõe que os veículos chegam aleatoriamente nas aproximações. O cálculo é realizado utilizando a Equação 6.

$$T_{co} = \frac{1,5 \times T_p + 5}{1 - Y} \quad (6)$$

onde:

T_{co} = tempo de ciclo ótimo (s);

T_p = tempo perdido total (s);

Y = somatório dos y críticos.

O tempo perdido total é a soma dos tempos perdidos por fase e está relacionado com a diferença entre o tempo de verde efetivo, tempo em que os veículos fluem em seu direito de passagem e o tempo de verde real, em que o foco luminoso verde permanece aceso, mais o tempo de amarelo. Também está relacionado com estágios para pedestres, se estes existirem. A Equação 7 apresenta esta relação e a Equação 8 apresenta o cálculo para o tempo de verde efetivo.

$$g_i = g_{efi} + I_i - A \quad (7)$$

onde:

g_i = tempo de verde real do estágio i (s);

g_{efi} = tempo de verde efetivo do estágio i (s);

I_i = tempo perdido do estágio i (s);

A = tempo de amarelo (s).

$$g_{efi} = \frac{y_{crit}^i}{Y} \times T_{co} - T_p \quad (8)$$

onde:

g_{efi} = tempo de verde efetivo do estágio i (s);

$y_{crit}i$ = y crítico do estágio i ;
 Y = somatório dos y críticos;
 T_{co} = tempo de ciclo ótimo;
 Tp = tempo perdido total (s).

2.4 FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE TRÁFEGO

As ferramentas de análise de tráfego são importantes para entendimento e avaliação de alternativas e auxiliam nas análises situações atuais e futuras, participando do processo de tomada de decisão de engenheiros de tráfego em busca de soluções em projetos de transportes (VDOT, 2013).

Segundo FHWA (2004a) as ferramentas de análise de tráfego incluem pacotes de *software*, metodologias e procedimentos, podendo auxiliar os profissionais mais especificamente a:

- Aprimorar o processo de tomada de decisões;
- Avaliar e priorizar alternativas operacionais e de planejamento;
- Aprimorar designs e avaliar tempo e custos;
- Reduzir interrupções ao tráfego;
- Apresentar/vender estratégias para o público e partes interessadas;
- Operar e gerenciar a capacidade de vias existentes;
- Monitorar desempenho.

O FHWA (2004a) categoriza as ferramentas em grupos de planejamento/esboço, modelos de demanda de viagens, ferramentas analíticas/determinísticas e modelos de simulação.

O FHWA (2004b) apresenta uma metodologia que auxilia na escolha da ferramenta de análise de tráfego. RMS (2013) e ESPADA; LUK; LLOYD (2010) apresentam planilhas com o mesmo objetivo que auxiliam na escolha da técnica de modelagem mais apropriada para o estudo que está sendo realizado, com conceitos similares aos utilizados na metodologia proposta por FHWA (2004b). Estas metodologias consideram as características do sistema de tráfego que deverá ser analisado em relação à representação da demanda, instalações presentes na rede viária, medidas de desempenho, composição do tráfego, custos e diversos outros parâmetros.

A Tabela 1 apresenta a relevância de cada ferramenta de tráfego pela metodologia apresentada em FHWA (2004b) para a análise de interseção isolada e rotatória. É possível identificar que ferramentas analíticas e de simulação macroscópica e microscópica são adequadas para as duas situações, onde:

- = contexto específico é geralmente abordado pela ferramenta;
- ⊙ = algumas das ferramentas abordam o contexto específico e outras não;
- = a ferramenta geralmente não aborda o contexto específico.

Na seção 2.5 são apresentados estudos que utilizam diferentes técnicas

Tabela 1: Relevância das ferramentas de análise de tráfego para interseções

	Interseção isolada	Rotatória
Planejamento/ esboço	○	○
Demanda de viagens	⊙	○
Analíticas/ determinísticas	●	●
Otimização de tráfego	●	○
Simulação macroscópica	●	⊙
Simulação mesoscópica	●	○
Simulação microscópica	●	⊙

Fonte: Adaptado de FHWA (2004b)

de modelagem e ferramentas para analisar interseções. A Tabela 2 apresenta uma lista de ferramentas de tráfego utilizadas na análise de interseções por estes estudos e qual o tipo de modelagem utilizado por cada uma.

Tabela 2: Ferramentas de tráfego utilizadas na análise de interseções

Ferramenta	Abordagem
Sidra Intersection	Analítica
HCS 2000	Analítica
HCM 2000 e HCM 2010	Analítica
VISSIM	Simulação microscópica
Paramics	Simulação microscópica
SimTraffic	Simulação microscópica
Aimsun	Simulação microscópica
Rodel	Analítica

Os microsimuladores tem flexibilidade para modelar interseções e fornecem um alto nível de detalhes. O VISSIM é um microsimulador desenvolvido na Alemanha pelo PTV Group¹. O Paramics, ou Q-Paramics é desenvolvido na Inglaterra pela Quadstone Paramics². O SimTraffic é parte do pacote Synchro Studio, desenvolvido no Estados Unidos pela Trafficware³. O Rodel é uma ferramenta analítica específica para a modelagem de rotatórias, desenvolvida na América do Norte pela Rodel Interactive⁴.

¹<<http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/>>. Acesso em: 16 de agosto de 2017.

²<<http://www.paramics-online.com/>>. Acesso em: 15 de agosto de 2017.

³<<http://www.trafficware.com/>>. Acesso em: 16 de agosto de 2017.

⁴<<http://rodel-interactive.com/>>. Acesso em: 16 de agosto de 2017.

As ferramentas HCM, HCS, Sidra Intersection e Aimsun são apresentadas nas seções 2.4.1, 2.4.2 e 2.4.3, sendo de interesse maior, pois serão utilizadas neste trabalho.

2.4.1 HCM 2010

O *Highway Capacity Manual* (HCM) 2010 foi desenvolvido pela *Transportation Research Board* (TRB) e é a quinta edição do manual, lançado em 2010. A primeira edição do HCM foi publicada em 1950 e foi o primeiro documento internacional sobre o assunto de capacidade. O HCM 2010 é o primeiro manual a considerar o efeito de carros em ciclistas e pedestres e fornecer uma abordagem multimodal na análise de vias urbanas (TRB, 2010a).

O HCM 2010 apresenta metodologias para analisar e determinar capacidade e o nível de serviço em vias de fluxo ininterrupto, vias urbanas de fluxo interrompido, interseções semaforizadas e com controle de prioridade, sendo que seus objetivos são (TRB, 2010a):

- Definir medidas de desempenho e descrever métodos de pesquisa para características-chaves de tráfego;
- Fornecer metodologias para estimar e prever medidas de desempenho;
- Explicar metodologias com detalhes de forma a permitir que os leitores compreendam os fatores que afetam operações multimodais.

O conceito de capacidade de um sistema apresentado pelo TRB (2010a) é a máxima taxa de fluxo horária que pode ser esperada que veículos ou pessoas atravessem um ponto ou seção uniforme de via em condições predominantes de controle, tráfego e via. Se segmentos de vias tiverem condições predominantes diferentes, eles terão capacidades diferentes. De acordo com DNIT/IPR (2006) a determinação da capacidade permite uma análise técnica e econômica para assegurar o escoamento dos volumes de tráfego esperados em condições aceitáveis, assim quantificando o grau de suficiência de uma via para acomodar estes volumes.

O nível de serviço, ou como chamado em inglês *Level of Service* (LOS), é definido pelo TRB (2010a) como uma estratificação quantitativa de medidas de desempenho que representam qualidade de serviço. São definidos seis níveis de serviço, representados pelas letras de A a F, sendo que o LOS A representa a melhor condição de operação da perspectiva do viajante e LOS F é a pior condição. Para determinar o nível de serviço em interseções a medida de serviço é o atraso de controle.

Em interseções TWSC o nível de serviço é determinado para cada aproximação das vias secundárias e para conversões à esquerda nas vias principais, não sendo determinado para interseção como um todo. A Tabela 3 apresenta os valores de atraso que definem cada LOS para estas interseções, sendo que para relações entre volume da demanda e capacidade (v/c) com

valores maiores que 1, o LOS passa a ser F, independente do valor de atraso computado.

Tabela 3: Critérios para determinação do nível de serviço em interseções TWSC

Atraso de controle (s/veic)	LOS pela relação entre volume e capacidade $v/c \leq 1$
0-10	A
>10-15	B
>15-25	C
>25-35	D
>35-50	E
>50	F

Fonte: Adaptado de TRB (2010b)

Para interseções semaforizadas, o LOS pode ser determinado para a interseção como um todo ou para cada uma das aproximações. A Tabela 4 apresenta os valores de atraso para a determinação do LOS e sobre os valores da relação volume e capacidade.

Tabela 4: Critérios para determinação do nível de serviço em interseções semaforizadas

Atraso de controle (s/veic)	LOS pela relação entre volume e capacidade $v/c \leq 1$
≤ 10	A
>10-20	B
>20-35	C
>35-55	D
>55-80	E
>80	F

Fonte: Adaptado de TRB (2010b)

Em rotatórias o LOS pode ser determinado, assim como para as semaforizadas, para cada aproximação ou para a interseção como um todo. Os valores de atraso que definem cada LOS são os mesmos apresentados na Tabela 3.

As metodologias apresentadas no HCM podem ser aplicadas em análises em nível de operação, projeto e planejamento, diferindo na quantidade de dados de campo utilizada na análise e na maneira de aplicação, que pode ser iterativa, a fim de atender um critério em nível de design, ou em aplicações

únicas, a fim de avaliar performance. Os procedimentos realizados quando se aplicam as metodologias do HCM 2010 são determinísticos, ou seja, uma saída única é obtida para um determinado conjunto de dados.

O HCS 2010 é um *software* desenvolvido pelo McTrans⁵ que implementa o método do HCM 2010 para interseções semaforizadas e com controle de prioridade, vias urbanas, *freeways*, entre outros. A utilização do HCS 2010 é descrita na seção 3.2.

2.4.2 Sidra Intersection

Sidra Intersection é um *software* desenvolvido pela empresa Sidra Solutions utilizado como auxílio no projeto e avaliação de interseções.

Segundo AKCELIK & ASSOCIATES (2016), o Sidra Intersection é uma ferramenta de avaliação micro analítica que emprega uma modelagem “faixa-por-faixa” (considerando os veículos separadamente em cada faixa da interseção, baseado em movimentos de origem e destino) junto com um método iterativo para estimar capacidade e medidas de performance como atraso e comprimento de fila. Além do modelo próprio, o Sidra também implementa a metodologia do HCM 2010 para o cálculo de capacidade. Assim como o HCM, O Sidra Intersection também é considerado um modelo determinístico para interseções, entretanto, é pontuado em seu manual que os modelos matemáticos utilizados incorporam elementos estocásticos, como modelos para calcular excesso de fila em interseções, ainda que cada aplicação do modelo produza os mesmos resultados (AKCELIK & ASSOCIATES, 2016).

Com o Sidra Intersection é possível analisar interseções semaforizadas, rotatórias, interseções com sinalização de preferência com “pare” ou “dê a preferência” (tipo TWSC e AWSC), travessias para pedestres e interseções tipo “diamante” em *freeways*.

Podem ser consideradas diferentes classes de veículos como veículos leves, pesados, ônibus, caminhões, bicicletas e trens leves. Cada tipo de veículo tem características diferentes e os movimentos destes veículos podem ocorrer em vias separadas, possibilitando análises como vias exclusivas para ônibus.

2.4.3 Aimsun

O Aimsun é um simulador desenvolvido e comercializado pela empresa *Transport Simulation Systems* (TSS). Nele é possível realizar simulações macroscópicas, microscópicas, mesoscópicas e híbridas. O Aimsun é um modelo de simulação estocástico, ou seja, são aplicados processos de randomização que produzem resultados diferentes cada vez que o processo é repetido.

⁵<<http://mctrans.ce.ufl.edu/mct/index.php/hcs/>>. Acesso em: 24 de maio de 2017.

O simulador microscópico, modelo de interesse para este trabalho, segue a abordagem de que o comportamento de cada veículo na rede é modelado continuamente enquanto ele viaja pela rede de tráfego no período da simulação (TSS, 2014b). Esta abordagem é feita através dos modelos de comportamento *car-following*, *gap-acceptance* e *lane-changing*.

O modelo *car-following* utilizado pelo Aimsun consiste basicamente em dois componentes: aceleração e desaceleração. A aceleração representa a intenção de um veículo em atingir uma velocidade desejada, enquanto a desaceleração representa as limitações impostas pelo veículo posterior ao tentar dirigir na velocidade desejada. As características deste modelo são determinadas pelo tipo de condutor, geometria da seção e influência dos veículos nas pistas adjacentes (TSS, 2014a). O modelo *gap-acceptance* tem consistência com o modelo *car-following* para que não ocorram colisões.

O modelo *lane-changing* do Aimsun segue a descrição da seção 2.2 e é um processo de decisão que analisa a necessidade da mudança de faixa e a viabilidade desta manobra, considerando a velocidade do veículo que está à frente (TSS, 2014a).

2.5 ESTUDOS COMPARATIVOS

Para embasar a análise comparativa deste trabalho, foi realizada uma pesquisa na literatura para levantar estudos comparativos existentes e identificar quais os métodos e *softwares* utilizados nestas comparações, tipos de interseções e tipo de demanda utilizada. Nos estudos descritos também é possível identificar os resultados dos *softwares* utilizados nas análises de interseções e as principais características comparadas. Os autores abordam temas como a simplicidade de operação dos *softwares*, comparação de resultados entre os métodos abordados e com valores reais, capacidade de interseções, escolha de técnica, calibração dos modelos e diferenças entre as técnicas utilizadas. A Tabela 5 apresenta um resumo dos estudos comparativos descritos nesta seção.

Tabela 5: Estudos comparativos

Autor	Método de análise utilizado	Tipo de interseção	Tipo de demanda
TIANZI; HONGXU (2013)	VISSIM e Sidra Intersection	Semaforizada	Real
AL-OMARI; TA'AMNEH (2007)	Sidra Intersection e HCS 2000	Semaforizada	Real
STANEK (2012)	FHWA 2000, HCM 2000, HCM 2010, Sidra Intersection, SimTraffic, VISSIM e Paramics	Rotatória	Fictícia
RANJITKAR; SHIRWALI (2014)	Sidra Intersection	Semaforizada, rota- tória, TWSC e “dé a preferência”	Fictícia
ESPADA; BENNETT; LUK (2010)	Sidra Intersection, VISSIM, Aimsun e Q-Paramics	Semaforizada	Real
GAGNON et al. (2008)	Sidra Intersection, Rodel, Paramics, SimTraffic e VISSIM	Rotatória	Real
GOMES (2015)	HCS 2010 e Aimsun	-	Real

Os autores TIANZI; SHAOCHEN; HONGXU (2013) apresentam um estudo comparativo entre o *software* micro-analítico Sidra Intersection e o microssimulador de tráfego VISSIM para modelagem de uma interseção semaforizada. O foco do estudo é comparar a simplicidade de operação dos *softwares* e o erro de saída dos resultados quando comparados a um valor real. O estudo é realizado utilizando como exemplo uma interseção semaforizada com quatro aproximações na cidade de Xianyang, na China. Foram consideradas as características geométricas do local, bem como a programação semaforizada e os volumes classificados dos veículos que trafegaram pela interseção durante o período de uma hora.

Em relação à comparação na simplicidade de operação, a entrada de dados no VISSIM foi considerada mais complexa, sendo que a construção das vias deve ser feita de acordo com um mapa ou imagem como base e deve ser determinada uma escala antes de se iniciar a construção das vias e conexões, além disso, as rotas dos veículos devem ser criadas nos modelos. No Sidra Intersection os modelos de interseções já estão prontos e é necessário apenas editá-los. A programação semaforizada foi considerada mais simples no Sidra, por possuir modelos de fases prontos, assim como a composição dos veículos, que necessita apenas da proporção de veículos pesados. Sobre os resultados, o Sidra tem velocidade de processamento mais rápida e dados como tempo de atraso, tempo de viagem e comprimento de fila são obtidos sem necessidade de configurações, enquanto no VISSIM é necessário inserir detectores na via nos locais onde é desejado obter estas informações.

Para comparar o erro de saída, o atraso veicular foi utilizado como indicador de avaliação. Foram utilizados valores de veículos que dão a preferência (neste caso, que convergem à esquerda) e distribuição de velocidade para calibrar os *softwares*. Ao comparar os valores de saída de atraso com valores medidos reais, o VISSIM apresentou um erro médio de 10,18% e o Sidra um erro de 14,78%. O estudo concluiu que o Sidra tem maior simplicidade de operação, porém, se forem necessários valores de atraso veicular com maior precisão, o VISSIM é indicado.

AL-OMARI; TA'AMNEH (2007) apresentam um estudo com o objetivo de validar o uso dos *softwares* HCS 2000 e Sidra Intersection para estimar valores de atraso veicular em interseções semaforizadas. Para realizar o estudo, foram selecionadas 5 interseções semaforizadas na cidade de Irbid, na Jordânia com 3 e 4 aproximações em condições não saturadas. Foram utilizadas, ao todo, 54 horas de filmagem para estimar o volume de veículos e o atraso em cada uma das interseções em períodos dentro e fora da hora de pico. Informações sobre a geometria, tempos semaforizados e velocidades dos veículos foram coletadas em pesquisas de campo.

A calibração dos dois *softwares* foi feita com o fluxo de saturação

básico, medido utilizando os procedimentos do HCM 2000 e o fator de equivalência de ônibus em unidades de carros de passeio (UCP). Os autores consideram este valor importante pois os ônibus que trafegam na cidade de Irbid são menores que os ônibus de transporte público convencionais, carregando apenas cerca de 20 passageiros, logo, é considerado um fator de UCP mais baixo que o *default* dos *softwares*.

Os resultados extraídos do Sidra e o HCS foram valores para o atraso de controle. Foram comparados os valores de atraso real com os valores extraídos dos *softwares* sem calibração, com calibração apenas do fluxo de saturação básico, apenas o fator UCP corrigido e com ambas as duas calibrações. A comparação foi feita com o auxílio de gráficos, regressão linear e teste *t*. A conclusão do estudo foi de que ambos os *softwares* tiveram bons resultados, sendo que o Sidra teve uma performance melhor que o HCS. Ambos apresentaram melhores resultados quando utilizadas as duas calibrações ao mesmo tempo. Para atrasos baixos o HCS tende a superestimar o atraso, enquanto o Sidra prevê um resultado mais similar ao real e para atrasos maiores, o HCS apresentou previsões mais dispersas que o Sidra.

STANEK (2012) apresenta um estudo que compara métodos de análise de capacidade em rotatórias. A comparação é feita para a capacidade de uma das aproximações de uma rotatória de pista simples baseado nos volumes de entrada e volumes conflitantes através de métodos determinísticos e de simulação.

Os métodos determinísticos escolhidos para o estudo foram o *software* Sidra Intersection e as equações de capacidade apresentadas na primeira versão do manual de rotatórias do *Federal Highway Administration* (FHWA): *Roundabouts: An Informational Guide* (2000), no HCM 2000 e no HCM 2010, que utiliza a equação proposta na segunda edição no manual de rotatórias do FHWA (RODEGERDTS et al., 2010). O Sidra Intersection lista a capacidade da aproximação como uma medida de desempenho, junto com o atraso e comprimento de fila.

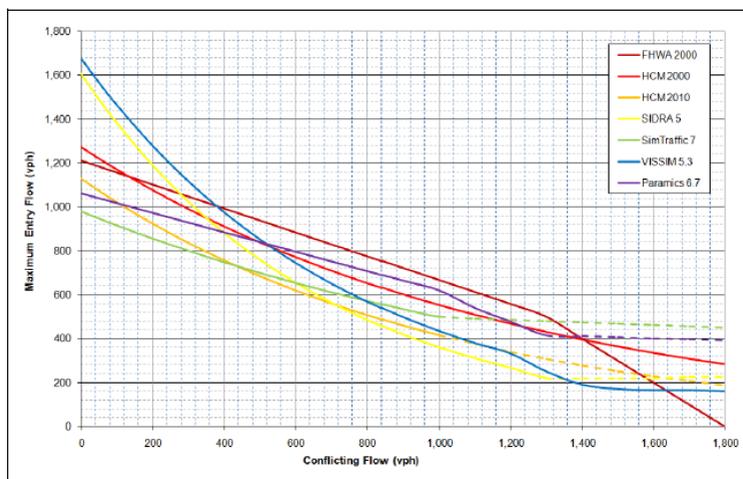
Os *softwares* de simulação utilizados são o VISSIM, Paramics e Sim-Traffic. Para os simuladores, não existem equações diretas para determinar a capacidade de entrada na rotatória. Como o volume da aproximação medido nos modelos não é o mesmo volume de demanda utilizado nos métodos determinísticos, a capacidade da aproximação foi derivada da equação de atraso do HCM 2000.

Foi criado um modelo fictício de uma rotatória onde foram feitas as suposições de que não existem movimentos de retorno, o fator hora pico (FHP) é igual a 1, ou seja, o fluxo é distribuído igualmente dentro da hora analisada e não há veículos pesados. A análise é feita para 15 minutos. Todas as aproximações são perpendiculares entre si, sendo que a largura da via de

circulação nas rotatórias foi suposta de 4,57m e diâmetro inscrito de 30,5m. Para os *softwares* de simulação VISSIM, Paramics e SimTraffic foram utilizados valores *default* velocidade de circulação na rotatória de 28km/h, 29km/h e 32km/h respectivamente. Para todas as aproximações foi suposta uma velocidade de 64 km/h. Foi criada uma demanda fictícia de 0 a 1800 veículos por hora e, em cada aproximação, 20% do volume converge à direita, 20% converge à esquerda e 60% segue reto.

Os resultados de capacidade são apresentados através de gráficos com o máximo fluxo de entrada (em veículos por hora) pelo fluxo conflitante na rotatória. O resultado de cada método é representado em uma curva no gráfico para facilitar a comparação, apresentados na Figura 4. As curvas dos métodos determinísticos são mais suaves pois são plotadas diretamente pelos resultados das equações de capacidade. Os formatos das curvas variaram em cada método. A equação do *Roundabouts: An Informational Guide* (2000) foi a que apresentou uma das maiores curvas de capacidade, e a equação da segunda edição do manual foi a que apresentou uma das menores curvas de capacidade. De acordo com os resultados, o autor recomenda o uso método do HCM 2010 para uma abordagem mais conservadora, visto que de todos os métodos, a curva apresentada foi a que teve a capacidade consistentemente mais baixa.

Figura 4: Gráfico plotado por STANEK (2012) com o máximo fluxo de entrada pelo fluxo conflitante



Fonte: STANEK (2012)

Utilizando o Sidra Intersection, RANJITKAR; SHAHIN; SHIRWALI (2014) fazem uma comparação na eficiência operacional de três tipos de interseções controladas por prioridade e uma interseção semaforizada. As três medidas selecionadas para representar a eficiência das interseções foram o atraso médio, capacidade da interseção e emissões de gases.

Para o estudo foram escolhidos desenhos de interseções fictícias, onde foi selecionada uma rotatória, um cruzamento com via principal e outra secundária que segue a regra de prioridade “dê a preferência”, um cruzamento do tipo TWSC, com via principal e secundária que segue regra de “pare” e um cruzamento semaforizado com duas fases. Todos os tipos possuem quatro aproximações perpendiculares entre si, com pista simples de 3,3 metros de largura. A rotatória possui uma ilha central com diâmetro de 20 metros e no cruzamento com semáforo foi adicionada uma faixa extra com 100 metros de comprimento dedicada a conversões à direita. O estudo foi realizado na cidade de Auckland, na Nova Zelândia, que utiliza “mão inglesa”, logo, conversões à direita tem o mesmo efeito que conversões à esquerda em locais onde os motoristas dirigem do lado direito da via.

Foram criadas demandas fictícias para as interseções com três diferentes taxas de volume para as vias principal e secundária, sendo estas: as duas vias possuem volumes iguais, a via principal possui um volume 50% maior que a via secundária e a via principal possui duas vezes o volume da secundária. Foram testadas também diferentes proporções de conversões de volumes, apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6: Proporção do volume para os movimentos

Proporção	Movimentos		
	Esquerda	Reto	Direita
1	10	80	10
2	10	70	20
3	10	60	30
4	20	70	10
5	30	60	10

Fonte: RANJITKAR; SHAHIN; SHIRWALI (2014)

Analisando os resultados, foi possível concluir que quanto maior a demanda, menor a capacidade da interseção, sendo que para valores altos de demanda a interseção semaforizada foi a que teve os menores valores de atraso e valores baixos de emissão quando comparados aos outros tipos de interseção. Para menores valores de demanda, as interseções com regra de prioridade tiveram melhor desempenho, seguidas pela rotatória. Em relação

às proporções de volume para os movimentos, valores maiores de conversões à direita impactaram negativamente a eficiência operacional de todos os tipos de interseção, enquanto conversões à esquerda tiveram impactos positivos. Com os resultados deste trabalho, pode se perceber que em locais de tráfego no lado direito da via, as conversões à esquerda teriam um impacto negativo no desempenho da interseção.

ESPADA; BENNETT; LUK (2010) apresentam uma comparação entre o Sidra Intersection e os microssimuladores VISSIM, Aimsun e Q-Paramics. A comparação faz parte da segunda etapa do projeto da Austroads NS1371 (ESPADA; LUK; LLOYD, 2010) e apresenta este estudo de caso para demonstrar a aplicação das técnicas de seleção de modelagem para interseções semaforizadas. O estudo é realizado com duas interseções semaforizadas de tempo fixo na cidade de Liverpool, na Austrália.

Foi realizada a comparação entre o Sidra Intersection, os microssimuladores e os dados medidos em campo para valores de comprimento de fila. Foram comparados também resultados de saída para valores de atraso médio, consumo de combustível e emissões, porém não estavam disponíveis dados medidos em campo para comparar com estes valores.

Para as duas interseções analisadas os resultados para comprimento de fila foram igualmente precisos em situação de fluxo não saturado tanto para os modelos de microssimulação quanto para o Sidra Intersection para modelo semaforizados de tempo fixo. Os resultados apresentaram variações entre modelos diferentes de técnicas iguais, indicando que a calibração dos modelos é potencialmente um determinante mais crítico para a precisão do modelo do que a escolha da técnica em si.

Os resultados de atraso foram comparados apenas para o VISSIM e o Sidra Intersection. Ocorreram discrepâncias entre os resultados para alguns movimentos, entretanto, como não estavam disponíveis medidas de campo não foi possível identificar o motivo da diferença entre estes valores. Comparando os dois modelos de forma geral foi possível concluir que os resultados de atraso apresentados pelas duas técnicas foram consistentes, não indicando que a escolha de uma técnica seria melhor que a outra.

A comparação sobre emissões foi feita utilizando também apenas o VISSIM e o Sidra Intersection e ocorreram discrepâncias significativas nos resultados. Como não estavam disponíveis dados de campo, não foi possível concluir qual técnica é melhor que outra para estes parâmetros.

Além destas características, o estudo também avaliou as diferenças entre o desenvolvimento dos modelos. Em relação aos recursos de mão de obra e do custo de *software*, foi estimado que os modelos de microssimulação requerem de três a cinco vezes mais recursos que para o Sidra Intersection, que necessitou de um tanto considerável de recursos a menos do que os alocados

para a construção e execução dos modelos de microsimulação. Uma vantagem apresentada pelos microsimuladores foi a da capacidade de produzir animações, que facilita a visualização da performance da interseção.

Um estudo sobre o potencial de calibração dos modelos analíticos Sidra Intersection e Rodel e dos modelos de microsimulação Paramics, SimTraffic e VISSIM é apresentado por GAGNON et al. (2008). O estudo é realizado em duas rotatórias modernas de pista simples em New Hampshire nos Estados Unidos. Para adquirir os dados de entrada necessários para o estudo, foram utilizadas filmagens das rotatórias em condições de hora de pico e com volume de veículos próximo à capacidade das mesmas.

Através das filmagens, foram obtidos dados de volume nas entradas e saídas das aproximações, volume de conversões à direita, tempos de atraso nas aproximações e tempos de aceitação de brecha e *headway*, que são utilizados na calibração dos modelos. As informações sobre a geometria das rotatórias foram obtidas em campo. Os autores relatam que foi muito trabalhoso levantar os dados a partir das filmagens, sendo que esta etapa demorou um tempo em torno de 15 vezes maior que o tempo de filmagem disponível.

Foram desenvolvidos modelos com os parâmetros *default* dos *softwares* e modelos calibrados, sendo que os parâmetros de calibração foram variados sistematicamente para avaliar o impacto nos resultados. Como os modelos de simulação microscópica são estocásticos, foi necessário rodar cada modelo várias vezes e utilizar a média dos resultados. Os *outputs* de atraso foram comparados com os valores medidos nas rotatórias.

De forma geral, foi possível concluir que a calibração tem impacto significativo no aprimoramento dos modelos e que o processo de calibração é específico para cada localidade. Entre os *softwares* analisados, os autores concluíram que o VISSIM é o mais versátil em termos de opções para calibração e o Rodel é o menos versátil, no qual não foram identificados parâmetros para realizar a calibração. O SimTraffic possui poucas opções para calibração de rotatórias, sendo que foram analisados resultados apenas para o modelo *default*. No simulador Paramics estão disponíveis fatores de calibração, entretanto, a variação de alguns destes fatores não teve impacto nos resultados. Para o Sidra Intersection, fatores ambientais como limite de velocidade, greide e tamanho de veículo tiveram o maior impacto nos resultados.

Em relação à comparação entre o método do HCM e simulação, para o FHWA (2004a), as metodologias do HCM e ferramentas utilizadas para implementá-las possuem uma abordagem estática para prever o desempenho do tráfego enquanto a abordagem dos modelos de simulação é dinâmica. Segundo o estudo, as duas técnicas diferem entre si pela abordagem temporal, sendo que o HCM estima a densidade média, velocidade e o atraso para os 15 minutos de pico de uma hora, enquanto os modelos de simulação preveem es-

tas características para cada intervalo de tempo dentro do período de análise. As medidas de desempenho são diferenciadas entre as ferramentas no sentido de que os modelos de simulação apresentam resultados de fila e atraso para os segmentos de via onde os veículos estão, enquanto o HCM apresenta as filas e atrasos causados por um gargalo. Em análises de uma interseção isolada, como é o caso deste trabalho, estas diferenças são minimizadas devido ao fato de que não sofrem influência de interseções e vias adjacentes.

GOMES (2015) utiliza o método HCM 2010 através do software HCS 2010 e realiza uma comparação com o microssimulador Aimsun para uma área de estudo na Grande Florianópolis. O autor realizou seu estudo em trechos de fluxo ininterrupto de *freeways*, rampas e entrelaçamentos. Os dados de demanda de tráfego foram obtidos através de contagens volumétricas classificadas, sendo que as diferentes classes de veículos foram transformadas em unidades de carro de passeio. Foram analisados cenários da hora pico da rodovia. A comparação foi realizada através dos *outputs* dos softwares para as características de velocidade, densidade e fluxo.

Para avaliar a correlação entre as características foram feitos gráficos para se obter o coeficiente de correlação (R^2) e a equação da reta. A análise foi feita para cada sentido da rodovia para 3 situações: considerando todos os segmentos, excluindo os segmentos de sobreposição de rampas e considerando os segmentos de sobreposição de rampas com a densidade da maior rampa na área de influência de ambas as pistas. Para a primeira situação o fluxo teve boa correlação ($R^2 = 0,98$), a densidade teve um valor baixo de $R^2 = 0,42$ e a característica de velocidade não teve correlação entre os dois modelos. Na segunda situação o fluxo teve o melhor resultado, com $R^2 = 0,99$, seguido da densidade que obteve valor de $R^2 = 0,89$ e a velocidade teve correlação, entretanto com valor baixo de $R^2 = 0,56$. Na terceira situação, o fluxo continuou com valor alto de $R^2 = 0,98$, entretanto a densidade teve menor correlação, com valor de $R^2 = 0,48$ e a velocidade não teve correlação. Foi concluído que a situação que teve melhor comparação entre os métodos foi com a exclusão dos segmentos de sobreposição de rampas.

3 MÉTODO

Para realizar a análise comparativa da modelagem de tráfego de interseções urbanas foram selecionados os *softwares*: o HCS 2010 para implementar a metodologia do HCM 2010, o Sidra Intersection e o Aimsun.

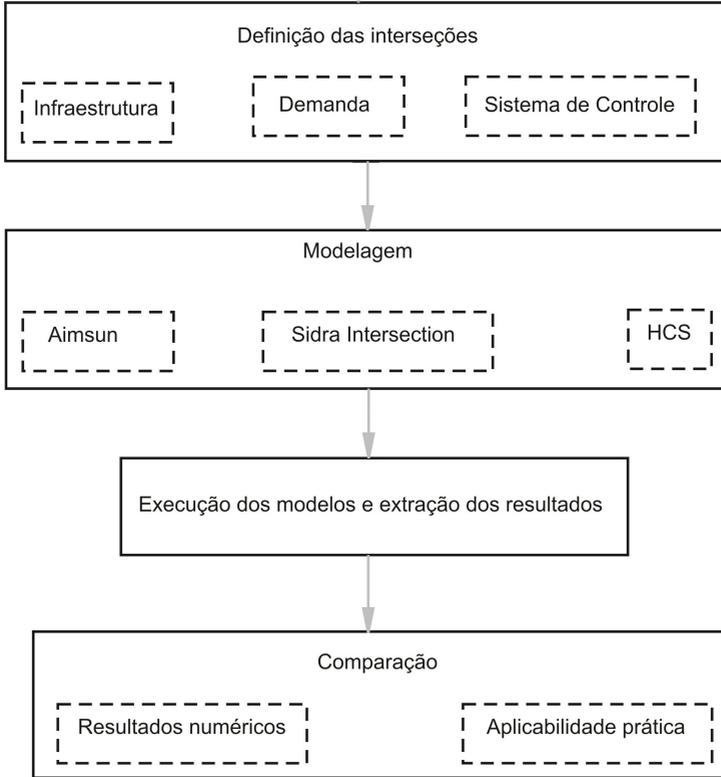
Após selecionados os *softwares*, a primeira etapa do método foi definir quais os tipos de interseções a serem modeladas. Na definição das interseções, foi necessário estabelecer as características da infraestrutura de cada tipo, demanda e sistema de controle.

Definidas as interseções e suas características a etapa seguinte foi a modelagem delas em cada um dos *softwares* selecionados. Após esta etapa os modelos foram executados e os resultados quantitativos extraídos.

Concluída esta etapa, o próximo passo foi a análise comparativa, onde foram realizadas a comparação sobre a usabilidade dos *softwares* e a comparação entre os resultados quantitativos extraídos de cada *software*, para cada interseção.

Estas etapas são descritas com detalhes ao longo deste capítulo. A Figura 5 apresenta um fluxograma que resume o método desta pesquisa para que a separação das etapas descritas seja melhor visualizada.

Figura 5: Fluxograma do método



Fonte: Elaborado pela autora

3.1 DEFINIÇÃO DAS INTERSEÇÕES ESTUDADAS

Para modelar uma interseção podem ser geradas ilimitadas configurações considerando as variações de geometria, demanda e sistema de controle de tráfego. Sendo assim, a definição das interseções estudadas foi realizada utilizando como critério os tipos de interseções abordadas no Volume 3 do HCM 2010 (TRB, 2010b), que são:

- Semaforizadas.
- *Two-way STOP-controlled* (TWSC).
- Rotatórias.

O TRB (2010b) aborda ainda o tipo *all-way STOP-controlled* (AWSC),

porém, como este tipo de sistema de controle em interseções é pouco comum no Brasil, ele foi excluído deste estudo.

3.1.1 Infraestrutura

Para os três tipos de interseções escolhidas neste estudo, foi definido que todas possuem quatro aproximações e cada aproximação possui mão dupla e pista simples, com largura de 3,5m para cada faixa. Todas as interseções possuem uma via principal e uma secundária, perpendiculares entre si. Em todas as aproximações é possível realizar os movimentos de seguir reto, convergir à direita e convergir à esquerda.

A Figura 6 representa as interseções selecionadas. Por não ser considerado o fluxo de pedestres neste trabalho, as faixas de travessia para pedestres não foram incluídas nos modelos das interseções. As interseções semaforizada e TWSC possuem a mesma configuração geométrica.

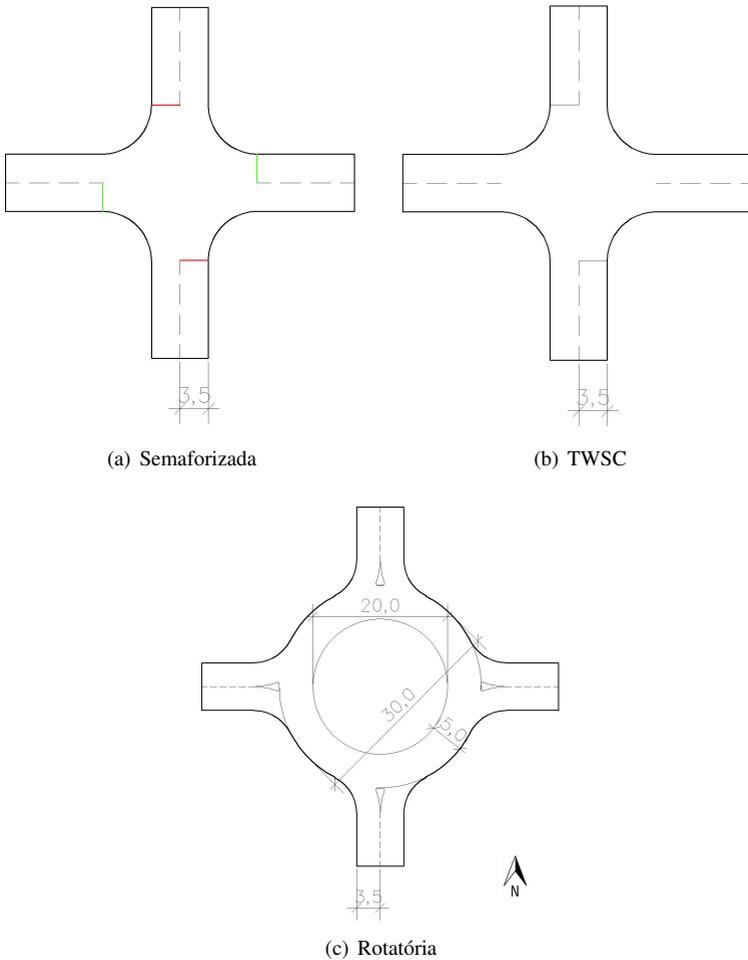
Para os três tipos de interseção, foi adotada a velocidade de 40km/h em todas as aproximações, sendo que este valor é a velocidade máxima tanto para a via principal quanto para a via secundária.

Para o *software* Sidra Intersection são necessários dados complementares para o modelo da rotatória (podendo ser representados também no Aim-sun), como largura de faixa de circulação e diâmetro da ilha central. Como auxílio para determinar estas características foi utilizado a segunda edição do manual de rotatórias norte-americano (RODEGERDTS et al., 2010), sendo que a consulta de sua primeira edição é recomendada pelo Manual de Projetos de Interseções (DNIT/IPR, 2005) para maiores informações sobre rotatórias modernas.

A largura de circulação para rotatórias de uma única faixa deve estar compreendida entre 4,9m e 6m. A largura máxima deve ser compatível com a largura das aproximações e não deve ser muito larga para que os motoristas não tentem se acomodar em faixa dupla. Considerando estas informações e o valor mínimo permitido no Sidra Intersection, foi definido que a largura da faixa de circulação é de 5m.

RODEGERDTS et al. (2010) recomenda que o diâmetro do círculo inscrito, que é a soma diâmetro da ilha central com duas vezes a largura de circulação, em rotatórias de pista simples, seja compreendido entre 27m e 55m, entretanto este diâmetro está diretamente ligado ao veículo de projeto e o diâmetro da ilha central necessário para acomodar estes veículos. Com esta informação e a definição da largura da faixa de circulação, foi definido que o diâmetro do círculo inscrito é de 30m e o diâmetro da ilha central é de 20m, indicados na Figura 6(c).

Figura 6: Representação das interseções



Fonte: Elaborado pela autora

3.1.2 Demanda

Interseções já implantadas possuem particularidades devido a distribuição do fluxo e movimentos e ao local de implantação. Ao analisar uma interseção já implantada é possível coletar dados para realizar a calibração do modelo para representar de maneira mais similar possível a situação real e validar o

modelo comparando os resultados obtidos com os medidos em campo, entretanto, a análise fica restrita à esta interseção apenas. A análise de uma interseção é geralmente realizada para o horário de pico da mesma, necessitando de contagens durante várias horas e posteriormente trabalhar estes dados em escritório para determinar a hora pico e transformá-los em um formato de entrada compatível com o modelo que está sendo utilizado.

Como este trabalho não tem como objetivo validar um modelo em relação à uma situação real e sim comparar modelos, foi adotada uma demanda fictícia para os três tipos de interseção. Esta escolha também se deu pelas dificuldades que seriam encontradas e o tempo demandado caso os dados fossem coletados em campo.

Para definir a demanda foram feitas as seguintes suposições:

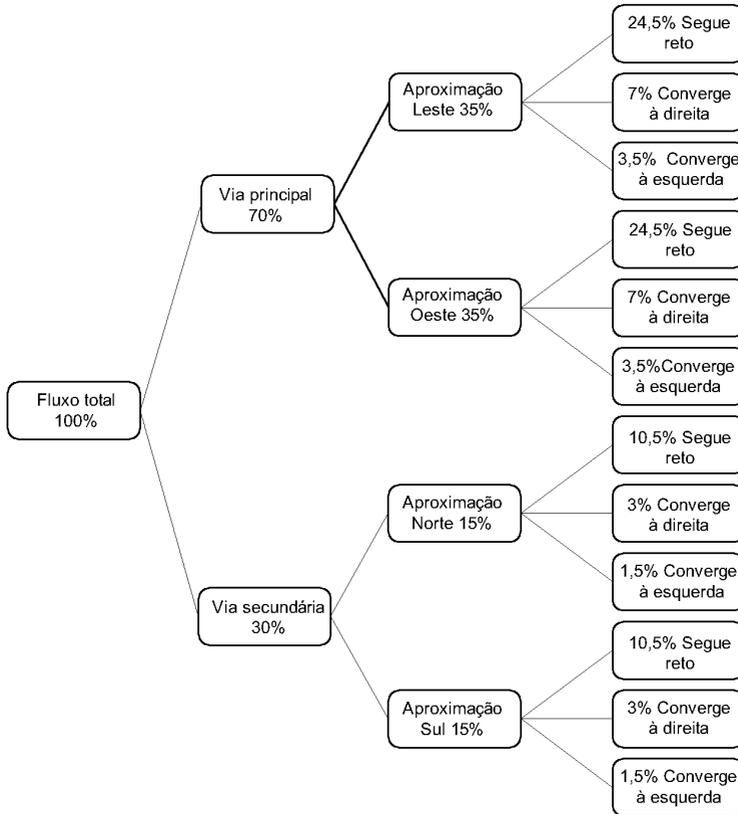
- Existe uma via principal e uma secundária.
- A via principal fica no sentido Leste-Oeste.
- Em cada aproximação o movimento com maior volume é o que segue reto.
- Os motoristas estão mais propensos a realizar conversões à direita do que à esquerda.
- São considerados apenas veículos de passeio.

A partir destas suposições as proporções e distribuição dos movimentos foram fixadas e são apresentadas na Figura 7. A proporção da distribuição dos movimentos foi mantida a mesma para todas as interseções e variações na demanda.

Nos *softwares* HCS 2010 e Sidra Intersection é necessário inserir a informação de fator de hora de pico. Como a demanda deste trabalho é considerada constante ao longo da hora de análise e não se deseja majorá-la, o valor do fator hora pico foi definido como 1.

O valor de 100% do volume é variado iniciando com demanda total de 100 veículos de passeio por hora com incrementos de 100 veículos a cada experimento até o valor máximo suportado em cada uma das interseções.

Figura 7: Distribuição dos movimentos na interseção



Fonte: Elaborado pela autora

3.1.3 Sistema de controle

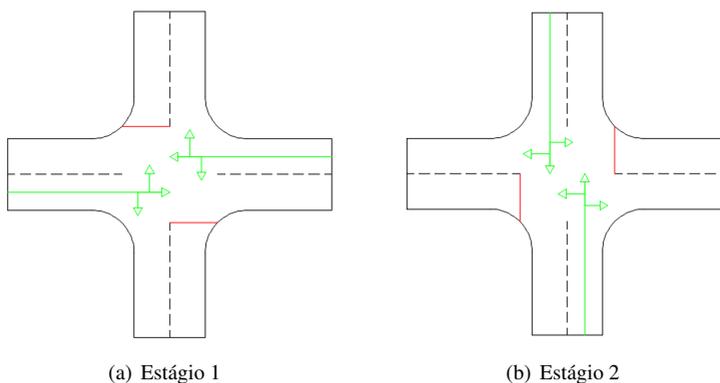
Interseções do tipo TWSC são controladas por sinalização vertical através de placas de “pare” e por sinalização horizontal com pinturas de setas com indicação das conversões permitidas, linhas de retenção e “pare” nas vias secundárias.

Por se tratar uma análise em interseções urbanas, as rotatórias modeladas neste trabalho são classificadas pelo DNIT/IPR (2005) como “modernas”, ou seja, o fluxo que circula na rotatória tem preferência em relação ao fluxo que chega nas aproximações. O controle é realizado através de placas de “dê

a preferência”, placas com o símbolo de rotatória indicando o sentido do fluxo e pinturas de linhas de retenção.

As interseções semaforizadas são controladas através de semáforos de tempo fixo. Devido à baixa proporção de veículos que convergem à esquerda, foi definido que a programação semafórica tem apenas dois estágios. A Figura 8 apresenta o diagrama de estágios. O estágio 1 é a etapa na programação semafórica em que os movimentos da via principal recebem o direito de passagem, ou seja, os movimentos que recebem tempo de verde para os sentidos Leste e Oeste. São permitidos os três movimentos das duas aproximações, sendo que o fluxo de veículos que converge à esquerda deve esperar uma brecha no fluxo contrário para realizar o movimento. O estágio 2 é a etapa em que os movimentos da via secundária recebem o direito de passagem e os demais movimentos estão recebendo tempo de vermelho e devem aguardar na linha de retenção.

Figura 8: Diagrama de estágios



Fonte: Elaborado pela autora

O dimensionamento dos tempos de ciclo e de verde são calculados utilizando o método de Webster (CONTRAN, 2014), descrito na seção 2.3. Para realizar cálculos de ajuste do fluxo de saturação básico, tanto o HCM 2000, recomendado pelo CONTRAN (2014), quanto o HCM 2010 (metodologia descrita em (TRB, 2013)) apresentam metodologias diferenciadas para o tratamento de conversões à esquerda “permitidas”, ou seja, não protegidas por um estágio específico na programação. Ambas as metodologias são complexas e necessitam da definição de diversas variáveis. Como este trabalho visa comparar as saídas dos *softwares* entre si e não otimizar a programação semafórica, foram adotados os valores de fluxo de saturação básico e fatores

de correção apresentados em DENATRAM (1984), descritos na sequência.

O fluxo de saturação básico para larguras menores que 5,5 metros é obtido através de interpolação dos valores da Tabela 7. O valor obtido para a largura de 3,5 metros foi de 1892 veic/h.

Tabela 7: Fluxo de saturação básico para aproximações com largura menor que 5,5 metros

$L(m)$	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,2
S_0	1850	1875	1900	1950	2075	2250	2475	2700

Fonte: DENATRAM (1984)

Para calcular o fluxo de saturação, a correção do fluxo de saturação básico foi feita utilizando fatores de correção para as conversões à direita e conversões à esquerda. As Equações 9, 10 e 11 apresentam os cálculos para o fluxo de saturação e fatores de correção.

$$S = S_0 \times f_{esq} \times f_{dir} \quad (9)$$

onde:

S = fluxo de saturação (veic/h);

S_0 = fluxo de saturação básico (veic/h);

f_{esq} = fator de conversão à esquerda;

f_{dir} = fator de conversão à direita.

$$f_{esq} = \frac{V}{V + 0,75 \times V_{esq}} \quad (10)$$

onde:

f_{esq} = fator de conversão à esquerda;

V = volume total da aproximação;

V_{esq} = volume de veículos que convergem à esquerda.

$$f_{dir} = \frac{V}{V + 0,25 \times V_{dir}} \quad (11)$$

onde:

f_{dir} = fator de conversão à direita;

V = volume total da aproximação;

V_{dir} = volume de veículos que converge à direita excedente a 10% do volume total da aproximação.

Como a demanda é variável, a programação semafórica também varia. A cada incremento da demanda a programação semafórica foi recalculada para se adequar à nova demanda. O cálculo do fluxo de saturação corrigido

e dos tempos de ciclo e verde foram calculados utilizando as equações descritas, implementadas em um *script* em linguagem Python. O *script* é apresentado no Apêndice A.1. O valor do tempo perdido por fase foi definido como 4 segundos para as duas fases e o tempo de amarelo foi definido como 3 segundos. Visto que as proporções de conversão à direita e à esquerda são as mesmas para as aproximações da via principal e da secundária, o valor do fluxo de saturação corrigido é o mesmo para as duas, com o valor de 1717 veic/h.

A Tabela 8 apresenta os resultados do cálculo dos tempos semafóricos. Os tempos de verde para o estágio 1 estão representados como Leste apenas e para o estágio 2 como Norte.

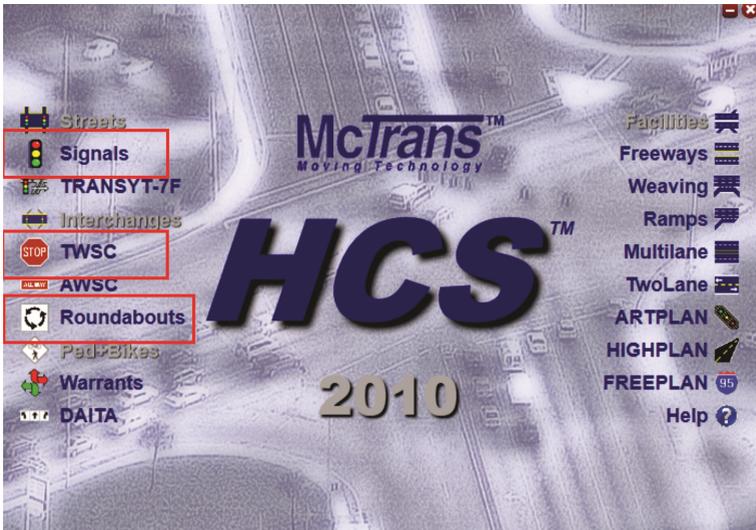
Tabela 8: Tempos do cálculo semafórico

Fluxo de referência	Tempo de ciclo (s)	Tempo de verde (s)	
		Leste	Norte
100	17,5	7,7	3,9
200	18,1	8,0	4,0
300	18,6	8,4	4,2
400	19,2	8,9	4,4
500	19,9	9,3	4,6
600	20,6	9,8	4,8
700	21,4	10,3	5,0
800	22,2	10,9	5,2
900	23,0	11,5	5,5
1000	24,0	12,2	5,8
1100	25,0	12,9	6,1
1200	26,1	13,7	6,4
1300	27,4	14,5	6,8
1400	28,7	15,5	7,2
1500	30,2	16,5	7,7
1600	31,8	17,7	8,1
1700	33,7	19,0	8,7
1800	35,7	20,4	9,3
1900	38,1	22,0	10,0
2000	40,7	23,9	10,8
2100	43,8	26,0	11,7
2200	47,3	28,5	12,8

3.2 MODELAGEM NO HCS 2010

Para realizar os cálculos com o método do HCM 2010 foi utilizado o *Highway Capacity Software* (HCS) 2010, versão 6.1. A Figura 9 apresenta a interface gráfica inicial do HCS onde é possível escolher o tipo de infraestrutura para ser analisada e destacados estão os tipos abordados neste trabalho.

Figura 9: Apresentação da interface gráfica inicial do HCS



Fonte: Adaptado do *software* HCS 2010

3.2.1 Infraestrutura

Inicialmente, o tipo de interseção é selecionado na janela apresentada na Figura 9. Ao selecionar a opção TWSC é criado um arquivo para esta interseção com a interface apresentada na Figura 10. Nesta tela, para cada aproximação, é possível inserir o número de faixas utilizadas em cada movimento ou se uma faixa é compartilhada para a realização de mais de um movimento. Deve ser selecionado também qual o sentido da via principal. Para este tipo de interseção existe a possibilidade de inserir estas informações utilizando a janela denominada *quick entry*, apresentada na Figura 11. Nesta janela é possível selecionar os movimentos, compartilhados ou não, através de setas diretamente em um desenho da interseção.

Figura 10: Modelo de interseção TWSC no HCS

HCS Unsignal - [TWSO_HCM.xhu]

File Edit View Reports Window Help

Input Quick Jump Report Quick Jump

UNSIGNALIZED INTERSECTIONS TWO-WAY STOP-CONTROLLED

Analyst: _____ Intersection: _____
 Agency/Co: _____ Jurisdiction: _____
 Date: 04/07/2016 Units: U. S. Customary
 Time Period Analyzed: _____ Analysis Year: _____
 East/West Street Name: _____ North/South Street Name: _____
 Project ID: _____

LANE DESIGNATION, VEHICLE VOLUMES AND ADJUSTMENTS

Quick Entry Duration: 0.25 hours

Eastbound			Westbound			Northbound			Southbound		
Left	Thru	Right									
0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Shared	Shared		Shared	Shared		Shared	Shared		Shared	Shared	
Right Turn Channelized			Right Turn Channelized			Right Turn Channelized			Right Turn Channelized		

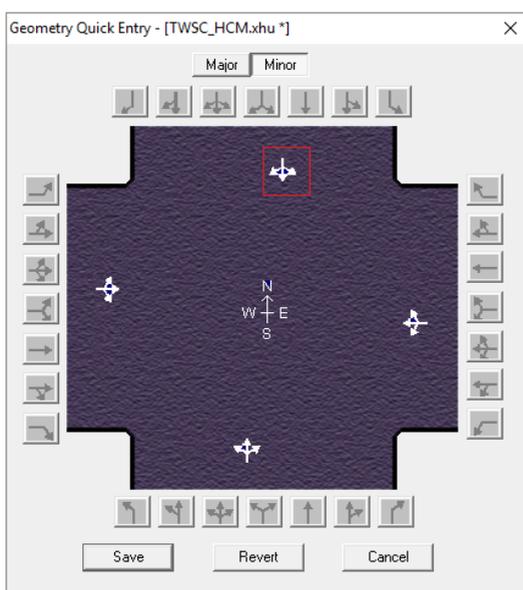
Major Street Direction: East-West

Number of Lanes and Usage (highlighted):
 0 Shared 1 Shared 0

Flared Minor-Street Approach and Storage:
 Yes Storage Yes Storage

Median Type:
 Raised curb Median Storage 1 Undivided Median Storage

Fonte: Adaptado do *software* HCS 2010

Figura 11: Janela *quick entry* para interseção TWSC no HCS

Fonte: Adaptado do *software* HCS 2010

O tipo de interseção semaforizada deve ser criado selecionando o modelo *Signals* na tela da Figura 9. Primeiramente aparecerá a janela apresentada na Figura 12, onde são preenchidos parâmetros de sistema de controle como o tempo de amarelo, fluxo de saturação básico, tempo de ciclo, tempo mínimo de verde e velocidade máxima. Após a seleção destes valores é criado um arquivo com a interface apresentada na Figura 13. Este modelo também possui uma opção similar à *quick entry* do TWSC, mas que está localizada na mesma tela do modelo e movimentos e faixas compartilhadas são selecionados diretamente pelas setas. Nesta tela pode ser escolhida a largura das faixas das aproximações.

Figura 12: Seleção do tipo semaforizado no HCS

Quick Start

Default Selections

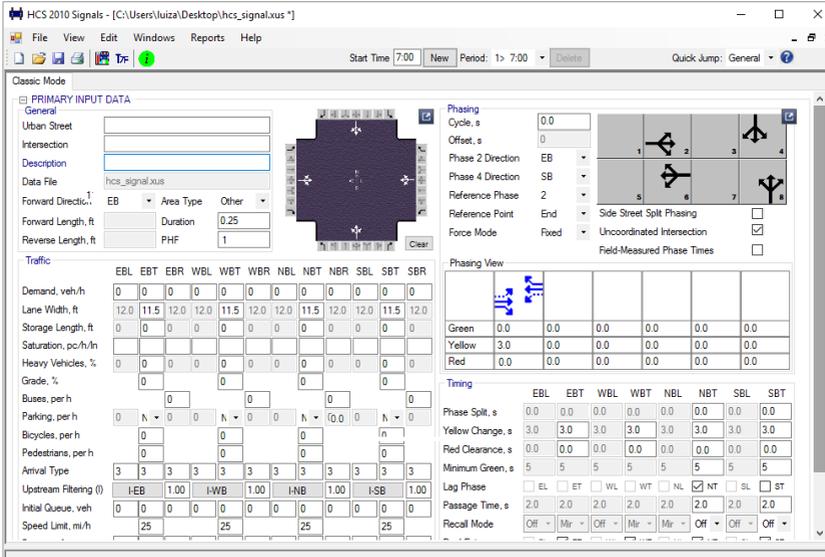
Number of Intersections	1	Cycle Length, s	
Forward Direction	EB	Minimum Green, s	
Number of Periods	1	Yellow Change, s	
Analysis Duration, h	0.25	Red Clearance, s	
Base Saturation Flow, pcphpl		Passage Time, s	
Speed Limit, mi/h		Detector Length, ft	

Template Help ?

OK Cancel Select Template

Fonte: Adaptado do *software* HCS 2010

Figura 13: Modelo de interseção semaforizada no HCS



Fonte: Adaptado do *software* HCS 2010

Para criar o arquivo da rotatória deve ser selecionada a opção *Roundabouts* na tela da Figura 9. O arquivo para esta interseção possui uma interface similar ao tipo TWSC e pode ser verificada na Figura 14. Neste modelo não existe a opção de selecionar as faixas com o *quick entry*.

É possível utilizar apenas uma faixa com os três movimentos compartilhados, porém, diferente do tipo TWSC, em rotatórias é permitido no máximo duas faixas por aproximação, podendo uma ser designada ao movimento que vai reto e outra para conversões à direita ou à esquerda. Caso exista o movimento de retorno, os volumes devem ser adicionados em um local específico na demanda.

Figura 14: Modelo de interseção rotatória no HCS

HCS 2010 ROUNDABOUTS

Analyst: Intersection:

Agency/Co.: Jurisdiction:

Date: 06/07/2016 Units: U. S. Customary

Time Period Analyzed: Analysis Year:

East/West Street Name: North/South Street Name:

Project ID:

LANE DESIGNATIONS, VEHICLE VOLUMES AND ADJUSTMENTS

Duration: 0.25 hours

Eastbound			Westbound			Northbound			Southbound		
Left	Thru	Right	Left	Thru	Right	Left	Thru	Right	Left	Thru	Right
Number of Lanes and Usage											
<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0"/>
Shared		Shared		Shared		Shared		Shared		Shared	
Percent of Entry Vehicles using Left Lane											
<input type="text" value="47"/>			<input type="text" value="47"/>			<input type="text" value="47"/>			<input type="text" value="47"/>		
Conflicting Lanes on Entry											
<input type="text" value="1"/>			<input type="text" value="1"/>			<input type="text" value="1"/>			<input type="text" value="1"/>		
Right-Turn Bypass											
<input type="text" value="None"/>			<input type="text" value="None"/>			<input type="text" value="None"/>			<input type="text" value="None"/>		
Conflicting Lanes on Bypass Entry											
<input type="text" value="1"/>			<input type="text" value="1"/>			<input type="text" value="1"/>			<input type="text" value="1"/>		
No. of Pedestrians Crossing Entry											
<input type="text" value="0"/>			<input type="text" value="0"/>			<input type="text" value="0"/>			<input type="text" value="0"/>		

Fonte: Adaptado do *software* HCS 2010

3.2.2 Demanda

A demanda é inserida nos modelos através do preenchimento dos campos de volume para cada movimento de cada aproximação. A Figura 15 apresenta uma tela com os campos de cada movimento, seguindo a ordem das aproximações apresentadas na Figura 14, para o modelo de rotatória. Além dos dados de volume da hora de análise, deve ser preenchido também o fator hora pico (FHP), indicado na Figura 15 como *Peak Hour Factor* (PHF) e caso existam, os volumes de movimento de retorno e a porcentagem de veículos pesados. Neste trabalho não são considerados volumes de veículos pesados para nenhum tipo de interseção, bem como pedestres e movimento de retorno

em rotatórias. Neste trabalho o valor de PHF para todos os tipos de interseção é 1, pois não existem variações da demanda dentro da hora de análise e não se deseja majorar os volumes de entrada.

A entrada da demanda no modelo TWSC é feita através de campos similares à Figura 15, porém, sem o campo para preenchimento do retorno (representado no modelo como *U-Turn*). Para o tipo semaforizado, a demanda é preenchida nos campos *Demand*, que podem ser verificados na Figura 13.

Figura 15: Campos para preenchimento da demanda de uma rotatória no HCS

Volume (vph)											
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peak Hour Factor, PHF, All 0.92											
0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
Percent Heavy Vehicles, (%), All 3											
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eastbound U-Turn			Westbound U-Turn			Northbound U-Turn			Southbound U-Turn		
Vol (vph)	PHF	% HV	Vol (vph)	PHF	% HV	Vol (vph)	PHF	% HV	Vol (vph)	PHF	% HV
0	1.00	0	0	1.00	0	0	1.00	0	0	1.00	0

Fonte: Adaptado do *software* HCS 2010

A execução dos modelos de interseções deste trabalho é feita utilizando vários experimentos em que as demandas são variadas, aumentando o volume a cada experimento. O preenchimento dos valores de demanda e a execução do modelo TWSC no HCS foram realizados através de programação com *scripts* em linguagem Python. Ao rodar o *script*, é determinado um número de experimentos, e para cada experimento, um incremento na demanda. A cada incremento, o modelo é executado e são registradas os resultados em um arquivo com extensão *.csv*, criado pelo *script*. O *script* é apresentado no Apêndice A.2. Devido à necessidade de desenvolver um *script* diferente para cada modelo e a complexidade do modelo semaforizado, o preenchimento das demandas e extração de resultados deste modelo e da rotatória foram realizados manualmente.

3.2.3 Sistema de Controle

O sistema de controle é definido pela seleção do tipo de interseção. Ao selecionar o tipo TWSC, é escolhido um tipo de interseção com prioridade onde existe uma via principal e a via secundária deve dar preferência ao fluxo principal, sendo que o usuário deve apenas definir qual a via principal. Para o modelo de rotatória esta definição não é necessária, sendo que os fluxos de

todas as aproximações devem dar preferência ao fluxo que já está em circulação. Nos modelos de rotatória e TWSC não é possível adicionar a velocidade máxima da interseção, apenas no modelo semaforizado.

Nas interseções semaforizadas as informações sobre a programação semafórica devem ser inseridas. No modelo semafórico, as informações de programação citadas na seção 3.2.1, da tela da Figura 12, podem ser modificadas e preenchidas para cada aproximação nos campos da Figura 13. Além dos dados de programação, na seção *Phasing*, da Figura 13, deve ser selecionada a opção *Uncoordinated Intersection*, garantindo que os resultados serão obtidos de acordo com o capítulo 18 do HCM 2010, referente à interseções semaforizadas, caso contrário a análise é feita com o capítulo 17, sobre segmentos de vias urbanas. Ainda na seção *Phasing*, a opção *Side Street Split Phasing* não deve ser selecionada para que seja possível preencher os dados de tempos de verde e amarelo para ambas as vias da interseção.

A cada incremento de demanda, os dados de tempo de ciclo e tempo de verde para cada estágio foram atualizados para se adequar à demanda, como descrito na subseção 3.1.3.

3.3 MODELAGEM NO SIDRA INTERSECTION

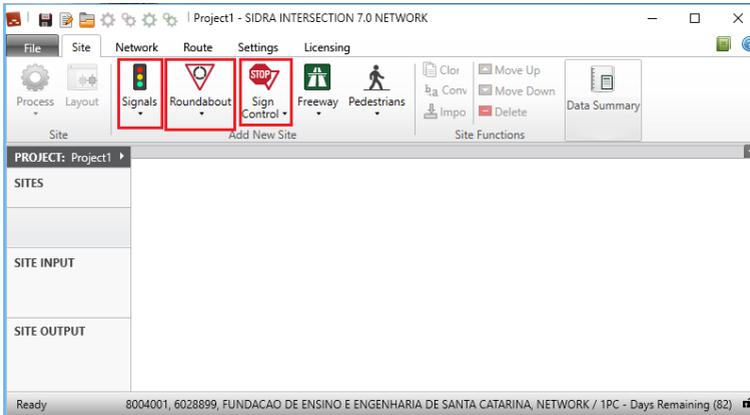
Para auxiliar na modelagem das interseções no Sidra Intersection foi consultado seu manual (AKCELIK & ASSOCIATES, 2016). A versão do *software* utilizada neste trabalho é a 7.0.

3.3.1 Infraestrutura

O Sidra Intersection é desenvolvido na Austrália e possui tanto a opção de direção do lado direito quanto do lado esquerdo da via, portanto esta configuração deve ser verificada antes de iniciar um projeto no *software*.

A Figura 16 apresenta a interface gráfica do Sidra Intersection, onde estão destacados os tipos de interseção utilizados neste trabalho. Os desenhos das interseções são pré definidos e ao clicar em uma das opções destacadas, uma lista com diversas opções de configuração é disponibilizada. Não é possível modelar interseções em desnível.

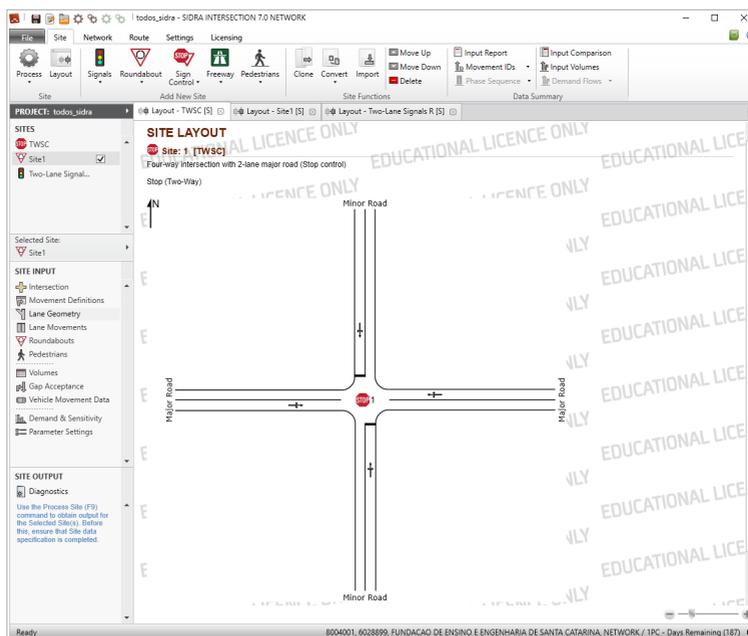
Figura 16: Interface gráfica do Sidra Intersection



Fonte: Adaptado do *software* Sidra Intersection

O modelo da interseção TWSC é criado selecionando a opção *Sign Control* destacada na Figura 16. Na janela seguinte aparecerá opção de selecionar o tipo TWSC e AWSC, devendo ser marcada a opção TWSC. O próximo passo é selecionar a opção de desenho com quatro aproximações. A interseção TWSC criada pode ser visualizada na Figura 17. É permitido mudar detalhes como preferências, número de faixas, inclusão e exclusão de movimentos, porém, o formato da geometria é fixo, dificultando a modelagem de desenhos não convencionais ou a replicação exata de interseções já implantadas. A Figura 18 apresenta a janela onde é possível selecionar os movimentos desejados para cada aproximação.

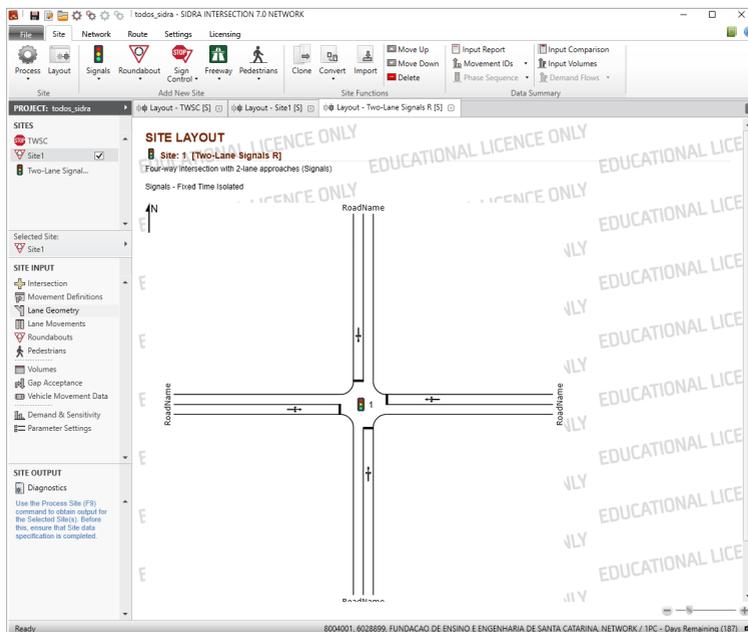
Figura 17: Modelo de interseção TWSC no Sidra Intersection



Fonte: Adaptado do *software* Sidra Intersection

O modelo de interseção semaforizada é criado selecionando a opção *Signals* na Figura 16. Deve ser selecionado o modelo com quatro aproximações e adaptado para que fique com a mesma geometria do tipo TWSC. A Figura 19 apresenta o modelo semaforizado.

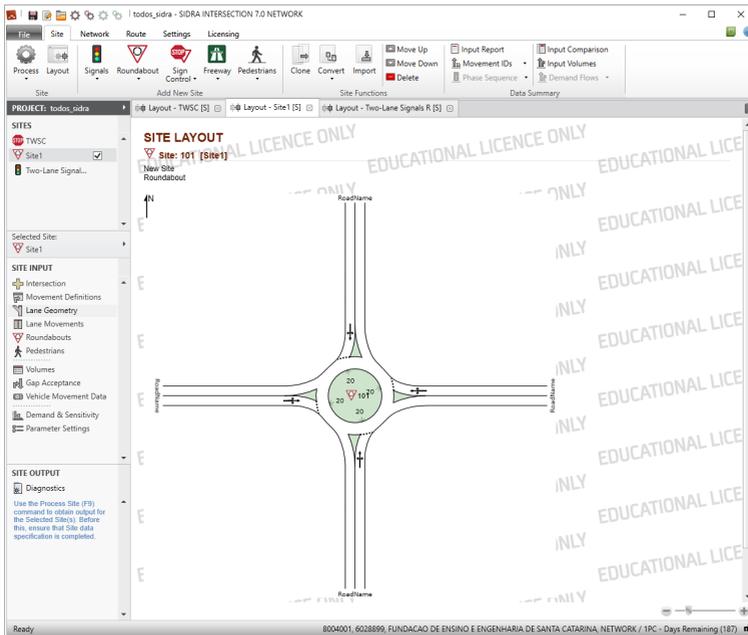
Figura 19: Modelo de interseção semaforizada no Sidra Intersection



Fonte: Adaptado do *software* Sidra Intersection

Para criar o modelo de rotatória, deve ser selecionada a opção *Roundabout* destacada na Figura 16. Assim como no tipo TWSC, aparecerão diversas opções de desenho, devendo ser selecionada a opção com quatro aproximações. A Figura 20 apresenta o modelo criado. Além da opção de determinar os movimentos da Figura 18, existem opções específicas da geometria das rotatórias para serem selecionadas como largura da pista de circulação, diâmetro da ilha central e raio e ângulo de entrada. A largura de circulação e o diâmetro da ilha central foram definidos na seção 3.1.1 e os demais dados foram utilizados os *default* do programa. A janela para inserir estas configurações está apresentada na Figura 21.

Figura 20: Modelo da rotatória no Sidra Intersection



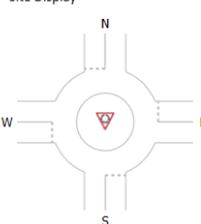
Fonte: Adaptado do *software Sidra Intersection*

Figura 21: Seleção dos parâmetros da rotatória no Sidra Intersection

ROUNDABOUTS - Site1

Options Roundabout Data

Site Display



Current Capacity Model:
SIDRA Standard

Geometry

Approach:	S	E	N	W
Number of Circ Lanes	1	1	1	1
Circulating Width	5,0 m	5,0 m	5,0 m	5,0 m
Island Diameter	20,0 m	20,0 m	20,0 m	20,0 m
Inscribed Diameter	Program ▾	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Entry Radius	20,0 m	20,0 m	20,0 m	20,0 m
Entry Angle	30,0 °	30,0 °	30,0 °	30,0 °
Raindrop Design	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Circulating Transition Line	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Number of Downstream Circ. Lanes	Program ▾	Program ▾	Program ▾	Program ▾

SIDRA Standard Roundabout Model Calibration

Approach:	S	E	N	W
Environment Factor	1,00	1,00	1,00	1,00
Entry/Circ Flow Adjustment	Medium ▾	Medium ▾	Medium ▾	Medium ▾

Dialog Tips ¹³

Help OK C

Fonte: Adaptado do *software* Sidra Intersection

3.3.2 Demanda

A demanda para cada tipo de interseção é inserida no Sidra Intersection na janela denominada *Volumes*, apresentada na Figura 22. Nesta janela, para aproximação selecionada são definidos os volumes para cada movimento. Nesta janela podem ser colocados os volumes para veículos pesados, porém, essa opção não será utilizada neste trabalho. O fator de hora de pico também pode ser inserido no Sidra, onde é denominado *peak flow factor*, entretanto, assim como no HCS este fator será considerado 1.

Figura 22: Definição dos volumes no Sidra Intersection

VOLUMES - TWSC

Vehicle Volumes | Volume Factors

Approach Selector

Volume Data Settings for Site

Unit Time for Volumes: 60 minutes
 Peak Flow Period: 30 minutes
 Volume Data Method: Separate

Movement Volumes for Selected Approach (Per 60 Minutes)

From South to Exit:	W	N	E
	L2	T1	R2
Total (veh) *	10	70	20
Light Vehicles (veh)	10	70	20
Heavy Vehicles (veh)	0	0	0
Input Check	OK	OK	OK

* Total (veh) values are calculated from other volumes specified

Dialog Tips ⓘ

Help OK Cancel Apply Process

Fonte: Adaptado do *software* Sidra Intersection

Para a execução dos modelos do Sidra Intersection não foram desenvolvidos *scripts*. O preenchimento da demanda inicial para cada interseção é realizado diretamente na janela indicada na Figura 22. No *website* dos desenvolvedores do *software*⁶ está disponível uma planilha em Excel que utiliza a *Application Programming Interface* (API) do Sidra Intersection para atualizar os volumes dos modelos das interseções. A Figura 23 apresenta a interface da planilha. Com esta aplicação, é possível carregar na planilha os volumes

⁶<http://www.sidrasolutions.com/Software/Utilities/Volumes_Annual_Sums>. Acesso em: 20 de abril de 2017.

inseridos previamente no modelo de cada interseção, atualiza-los, rodar o modelo e obter os resultados através da planilha. A planilha foi utilizada para os modelos TWSC e rotatória.

Como os tempos semafóricos são ajustados a cada incremento de demanda, estes valores devem ser atualizados diretamente no modelo. Para utilizar a planilha, o Sidra deve ser encerrado e para que o modelo seja salvo com a nova demanda, a planilha deve ser encerrada também. Este procedimento faz com que o uso da planilha no caso da interseção semafórica fique mais trabalhoso, logo, para este modelo as demandas foram atualizadas diretamente no *software*.

Figura 23: Atualização dos volumes no Sidra Intersection através de API

VOLUMES SIDRA INTERSECTION ⁷ <small>© 2000-2019 Alconik & Associates Pty Ltd</small>	
1	
2	
3	
4	CONTROL
5	<i>For detailed information, refer to the Introduction sheet.</i>
6	Ensure that macros are enabled in this Excel file.
7	
8	
9	<input type="button" value="Open SIDRA INTERSECTION Project File"/> <input type="button" value="Save SIDRA INTERSECTION Project File"/>
10	SIDRA INTERSECTION Project:
11	<i>Click the Open SIDRA INTERSECTION Project File button to browse for the Project file (extension .sip7).</i>
12	<i>Click the Save SIDRA INTERSECTION Project File button if you wish to save the changes made to the Project file as a result of the use of this Excel application.</i>
13	C:\Users\lab\Desktop\Luiza\Arquivos projeto\Modelos\todos_sidra.sip7
14	
15	Site:
16	<i>Select the Site using the drop-down box below.</i>
17	TWSC
18	
19	
20	<input type="button" value="Get Volumes"/>
21	<i>Gets volume and related data for the selected Site from the Project database and puts data in the Volume Input sheet</i>
22	<i>No processing performed. Data in SIDRA INTERSECTION Project file will not be affected.</i>
23	
24	<input type="button" value="Process (No Volume Update)"/>
25	<i>Processes selected Site using volumes contained within the Project. Populates "Output" sheets with Site output.</i>
26	<i>Volumes and related data in the Volume Input sheet will be ignored and data in the SIDRA INTERSECTION Project file will not be affected.</i>
27	
28	<input type="button" value="Update Volumes & Process"/>
29	<i>Processes specified Site using volumes from Volume Input sheet. Populates "Output" sheets with Site output.</i>
30	<i>Data in the SIDRA INTERSECTION Project file will be replaced by the volume data and related parameters in the Volume Input sheet (any existing Site data will be overwritten).</i>
	<input type="button" value="Volume Output"/> <input type="button" value="Intersection Output"/> <input type="button" value="Movement Output"/> <input type="button" value="Lane Out"/>

Fonte: Adaptado do *software* Microsoft Excel

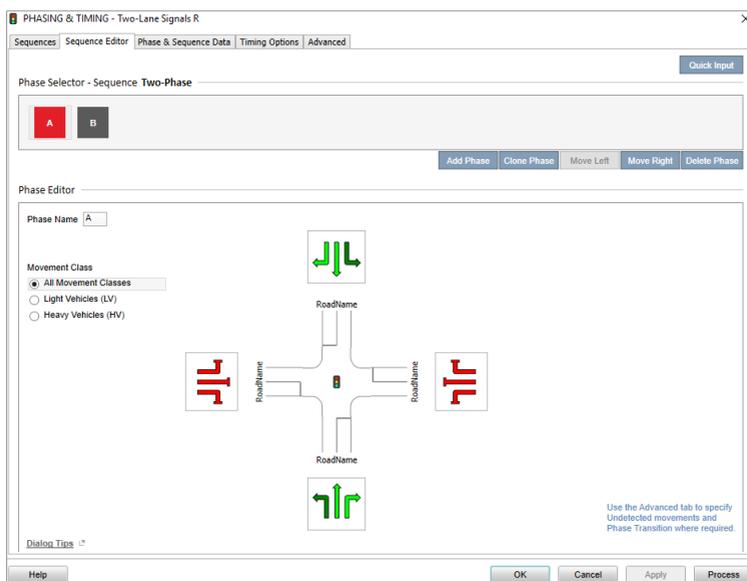
3.3.3 Sistema de Controle

Ao selecionar o tipo de interseção já é determinado o tipo de sistema de controle que será utilizado. Para rotatórias o fluxo que chega nas aproximações deve dar a preferência ao fluxo já circulante, aguardando na linha de retenção. O ângulo de entrada pode ser determinado na janela da Figura 21. Na inter-

seção TWSC podem ser definidos os movimentos que devem ter prioridade sobre os demais. Em todos os tipos a velocidade máxima pode ser definida.

O ajuste da programação semafórica pode ser feito nas abas da janela representada pela Figura 24. Na aba selecionada é possível definir o número de fases e os grupos de movimentos e classes de veículos que participam de cada fase. Nas demais abas é possível inserir os dados de tempos de ciclo, verde e amarelo.

Figura 24: Definição dos volumes no Sidra Intersection



Fonte: Adaptado do *software* Sidra Intersection

3.4 MODELAGEM NO AIMSUN

Para realizar a modelagem das interseções no Aimsun foram utilizados os manuais do mesmo (TSS, 2014a), (TSS, 2014b) e tutoriais disponibilizados pelos desenvolvedores do *software*. A versão do Aimsun utilizada neste trabalho é a 8.0.

3.4.1 Infraestrutura

Para criar a infraestrutura das interseções no Aimsun, elas devem ser desenhadas com ferramentas de criação de vias e movimentos, pois não estão

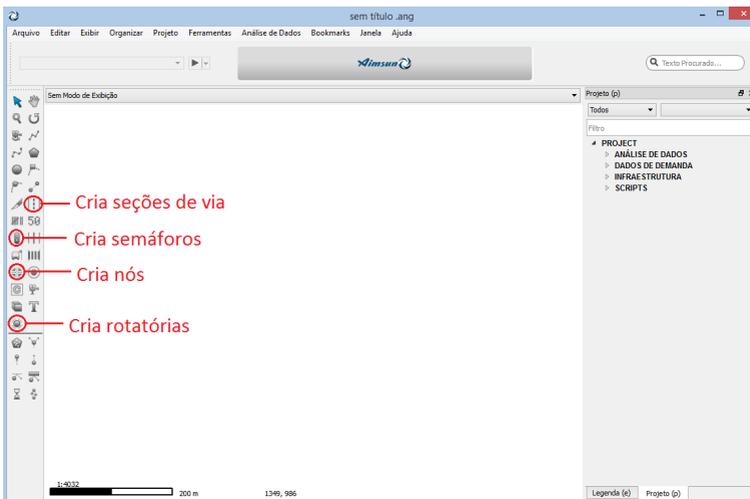
disponíveis desenhos prontos como no caso do HCS e Sidra Intersection.

Por utilizar um nível maior de detalhes, é importante que os dados sejam inseridos no microssimulador da forma mais similar possível em relação ao projeto ou locais já existentes. Em caso de infraestruturas já existentes uma imagem de satélite georreferenciada é inserida como plano de fundo e a geometria é desenhada a partir desta imagem.

Na criação da malha viária são utilizados “segmentos” para representar as vias. Nestes segmentos é possível determinar a velocidade em cada trecho da via, largura, quantidade de faixas, presença de travessia para pedestres e locais em que existe proibição de troca de faixa.

As ligações entre os segmentos das vias se dão através de “nós”. Os nós representam um ponto ou área na malha em que os veículos mudam de direção ou se dispersam, podendo ter um ou mais segmentos de origem e destino. A Figura 25 apresenta a interface gráfica do Aimsun e as principais ferramentas disponíveis para modelagem da infraestrutura estão indicadas.

Figura 25: Interface gráfica do Aimsun e barra de ferramentas

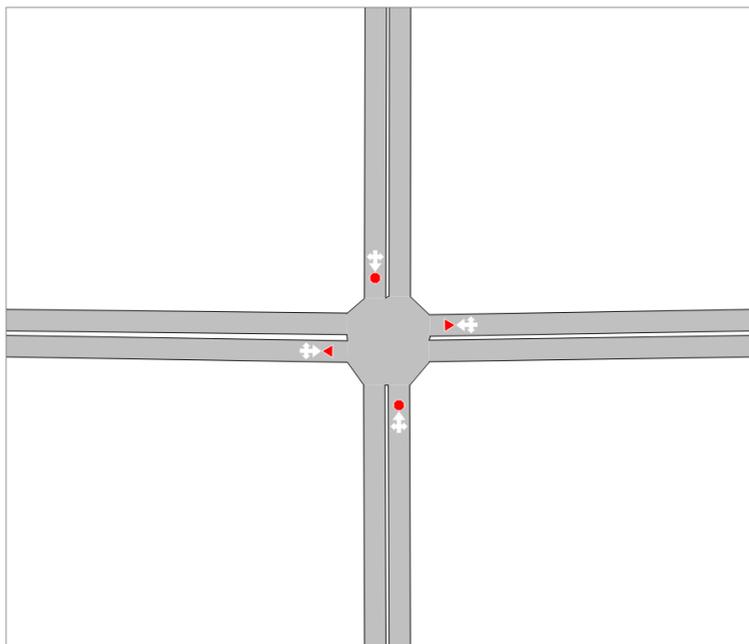


Fonte: Adaptado do *software* Aimsun

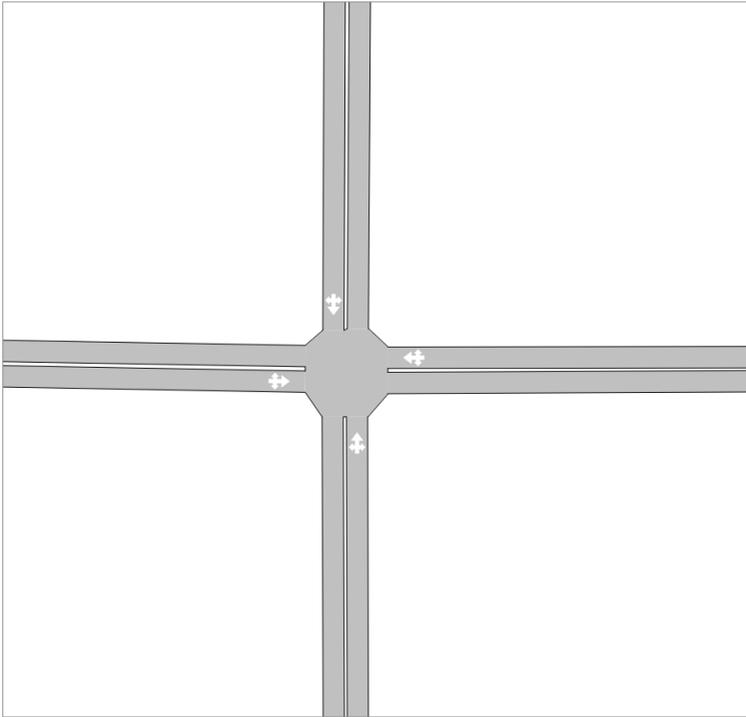
Interseções simples são feitas utilizando os “nós”, onde as conversões são representadas por ligações entre os segmentos de origem e destino. Para interseções mais elaboradas é utilizado um número maior de nós e segmentos auxiliares. A Figura 26 apresenta a infraestrutura da interseção do tipo TWSC. A infraestrutura da interseção semaforizada é a mesma da TWSC e está apresentada na Figura 27, entretanto, no modelo é atribuído um sistema

de controle com semáforos, que aparecem no modelo apenas quando a simulação está sendo executada.

Figura 26: Interseção TWSC desenhada no *software* Aimsun

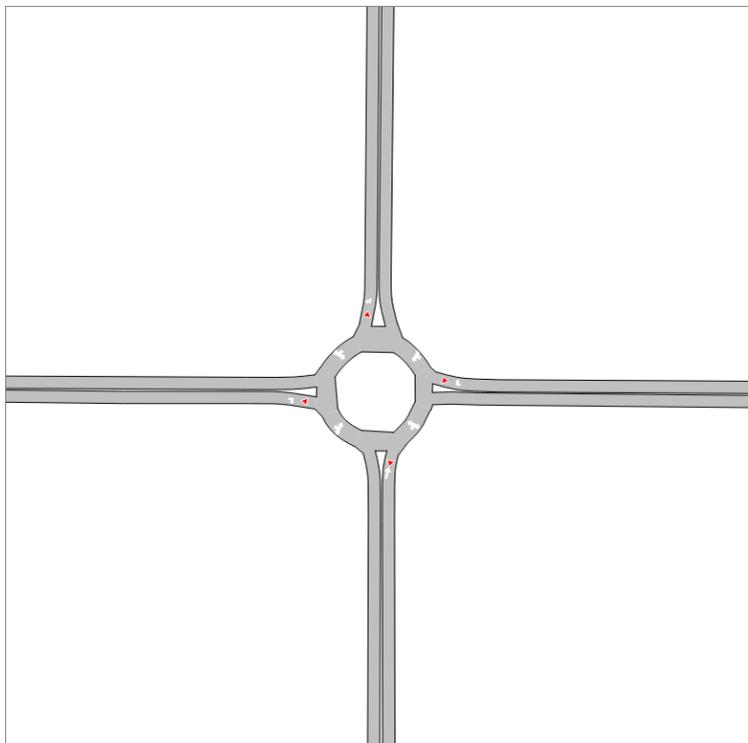


Fonte: Adaptado do *software* Aimsun

Figura 27: Interseção semafórica desenhada no *software* Aimsun

Fonte: Adaptado do *software* Aimsun

Para modelar rotatórias existe uma ferramenta disponível no simulador onde são selecionados os segmentos participantes e o raio inscrito é escolhido. Para configurações espaciais não usuais ou quando é necessária uma modelagem mais detalhada, as rotatórias podem ser modeladas da mesma forma que as demais interseções. Por padrão a ferramenta cria segmentos de via com duas faixas, cada uma com 3 metros de largura. Foram necessários ajustes para transformar os segmentos de duas para apenas uma faixa, mantendo a forma circular e ajustar a largura para 5 metros. A ilha central e as ilhas canalizadoras não são representadas no simulador, porém, a rotatória foi desenhada de maneira que sua geometria representasse o mais próximo possível o modelo selecionado no Sidra Intersection. A Figura 28 apresenta a infraestrutura da rotatória criada.

Figura 28: Interseção rotatória desenhada no *software* Aimsun

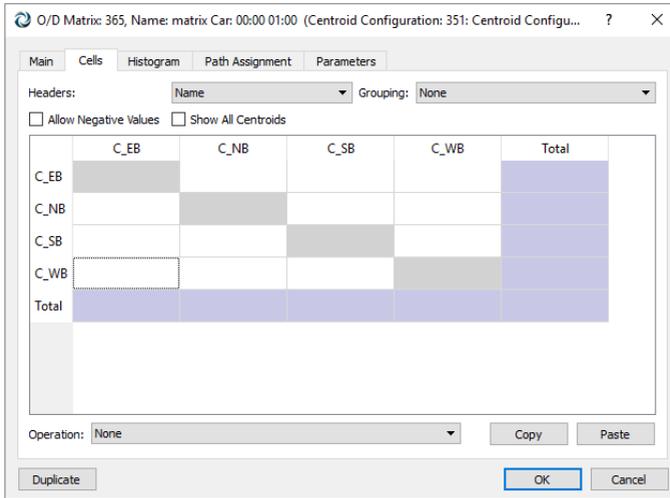
Fonte: Adaptado do *software* Aimsun

3.4.2 Demanda

A inserção da demanda no Aimsun pode ser feita por duas possibilidades, através de matrizes Origem e Destino (O/D) ou Estados de Tráfego. A Figura 29 apresenta um exemplo de matriz O/D.

As matrizes O/D contém o número de viagens realizadas entre os centroides de origem e os centroides de destino, onde é utilizada uma matriz para cada classe de veículo. Para que seja possível criar as matrizes O/D devem ser criados centroides que geram e atraem os veículos nas seções.

Os estados de tráfego contém dados do fluxo de entrada de veículos na rede que são alocados diretamente nos segmentos, bem como os dados de conversões. Assim como nas matrizes, é criado um estado de tráfego para cada classe de veículo. Em rotatórias o uso de estados de tráfego pode ser

Figura 29: Matriz de Origem e Destino no *software* Aimsun

Fonte: Adaptado do *software* Aimsun

mais complicado que matrizes *O/D*, pois elas são compostas por vários segmentos, sendo que em segmentos intermediários existirá um fluxo total circulante.

Neste trabalho, devido à maior facilidade em inserir a demanda da rotatória com matriz *O/D*, a demanda de veículos foi inserida desta forma. Para cada modelo é necessário apenas um tipo de matriz, pois estão sendo considerados apenas veículos de passeio. Devido ao alto número de experimentos, os procedimentos de execução dos modelos, preenchimento da demanda e extração dos resultados foram realizados através de programação com *scripts* em linguagem python de forma semelhante ao descrito na seção 3.2.2. Foi utilizado um *script* para cada interseção, sendo que o *script* do modelo TWSC se diferencia da rotatória e do semaforizado em relação à extração dos resultados e o para o modelo semaforizado são inclusas informações sobre os tempos semaforicos. Os *scripts* para a interseção TWSC, semaforizada e rotatória são apresentados respectivamente nos Apêndices A.3, A.4 e A.5.

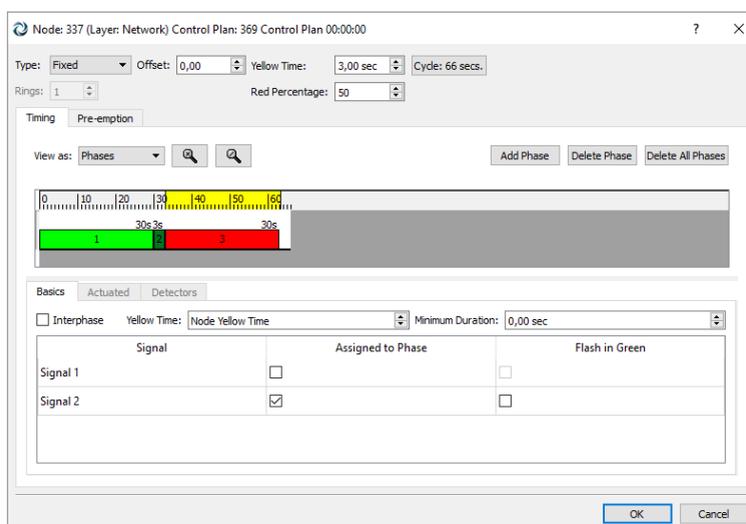
3.4.3 Sistema de Controle

Em interseções não semaforizadas o sistema de controle é configurado nos nós. Em cada nó é possível determinar quais movimentos são preferenciais e aplicar regras de preferência e de sinalização como “pare” e “dê a preferên-

cia”. Estas configurações aparecem automaticamente no modelo visual. Nas Figuras 26 e 28 é possível verificar indicações de “pare” e “dê a preferência” nas aproximações.

Para interseções semaforizadas primeiramente é definido o conjunto de movimentos de cada estágio no nó e posteriormente é criado um plano de controle que conterá informações sobre os tempos de ciclo. A Figura 30 exemplifica um plano de controle. Neste trabalho o preenchimento dos dados de tempo semafórico é realizado e recalculado a cada incremento de demanda através do *script* descrito na seção 3.4.2.

Figura 30: Plano de controle semafórico no *software* Aimsun



Fonte: Adaptado do *software* Aimsun

3.5 Extração de resultados e estruturação da análise comparativa

Como a característica usada pelo TRB (2010b) para determinar o nível de serviço em interseções é o atraso, esta é a característica principal analisada e comparada neste estudo. O HCS 2010 fornece como saída o atraso de controle, em segundos por veículo. O Sidra Intersection estima o atraso médio para todos os veículos, sendo extraído também o atraso de controle. No Aimsun o resultado de atraso extraído é o atraso médio de todos os veículos em cada aproximação ou movimento, sendo a diferença entre o tempo de viagem esperado e o tempo de viagem simulado.

Segundo o TRB (2010b), modelos de simulação em geral apresentam como resultado o atraso total do segmento, que considera o atraso geométrico além do atraso de controle, como é o caso do Aimsun. O TRB (2010a) sugere que para obter valores próximos aos de atraso de controle é possível rodar a simulação sem os dispositivos de controle de tráfego, assim, o valor de atraso obtido será o atraso geométrico e o resultante da interação entre os veículos. O atraso adicional obtido na simulação com os dispositivos de controle de tráfego será o atraso de controle.

O atraso médio do Sidra Intersection é o atraso de controle, entretanto, nesta metodologia o atraso de controle já inclui o atraso geométrico. Ao analisar os valores médios do atraso geométrico, estes são muito baixos, não ultrapassando 3 segundos para o volume máximo de veículos inserido em comparação aos 810 segundos de atraso de controle total na interseção TWSC, que teve valores mais altos de atraso quando comparados aos demais tipos de interseção.

Ao realizar uma análise preliminar dos resultados de atraso obtidos com o Aimsun, foi possível perceber que os valores para esta característica foram mais baixos do que os obtidos nas demais ferramentas. Considerando esta informação e o baixo valor de atraso geométrico obtido no Sidra Intersection, não foram realizadas correções nos valores de atraso extraídos do Aimsun para realizar o estudo comparativo.

Em estudos descritos na seção 2.5 são consideradas também características como comprimento de fila e velocidade para realizar comparações, assim sendo, para os três *softwares* foram extraídos resultados de comprimento de fila e para o Aimsun e Sidra Intersection foram extraídos resultados de velocidade, visto que o HCS 2010 não fornece esta saída para análise de interseções. Os valores de comprimento de fila são computados em número de veículos. As saídas do HCS e do Sidra são o valor 95 percentil do comprimento de fila, ou seja, o máximo valor provável para esta característica analisada, sendo que no Aimsun é selecionado o valor máximo de comprimento de fila para cada aproximação ou conversão.

A extração dos resultados para o modelo TWSC no HCS 2010 foi feita através do *script* como descrito na seção 3.2.2. Nos demais modelos, por não terem sido utilizados *scripts*, os resultados foram extraídos manualmente pela tela do HCS 2010. Para a interseção TWSC, os resultados de atraso para se determinar o nível de serviço com base no HCM 2010 são obtidos para a aproximação como um todo nas vias secundárias e para a conversão à esquerda nas vias principais. No HCS, os resultados já são fornecidos desta forma, para os demais *softwares* é necessário escolher o resultado desejado, da aproximação como um todo ou para o movimento de interesse. Para rotatórias e interseções semaforizadas o nível de serviço é dado pelo valor de atraso em

cada aproximação.

No Sidra Intersection são fornecidos resultados para o sistema como um todo, para cada aproximação ou para cada movimento da aproximação. Para os modelos TWSC e rotatória, os resultados foram extraídos através da planilha descrita na seção 3.3.2. No modelo semaforizado, como este foi executado manualmente, os resultados foram extraídos diretamente do *software*.

No Aimsun para cada interseção e cada incremento de demanda são executadas 10 replicações e calculada a média entre elas. Os resultados são adicionados automaticamente em um arquivo *sqlite*. Assim como no Sidra Intersection, dentro deste arquivo são armazenados dados para o sistema inteiro (tabela *MISYS*), seções de via (tabela *MISECT*), movimentos (tabela *MITURN*), entre outros (TSS, 2014a). Na interseção TWSC o *script* acessou os dados das tabelas *MISECT* e *MITURN* utilizando os IDs das seções e movimentos respectivamente. Para as interseções rotatória e semaforizada o *script* acessou a tabela *MISECT* apenas.

A análise comparativa é feita em relação aos resultados numéricos e em relação à usabilidade dos *softwares*. A ergonomia de um *software* é definida por CYBIS; BETIOL; FAUST (2015) como “a adaptação de um dispositivo a seu operador e à atividade que ele realiza” e a usabilidade como “a qualidade do uso do sistema para a realização de uma atividade”. Segundo os autores, a usabilidade é uma medida de eficácia, eficiência e satisfação alcançadas pelo usuário ao utilizar um sistema para atingir os objetivos desejados em uma atividade.

Segundo CYBIS; BETIOL; FAUST (2015), a norma ISO 9241:2011⁷ define eficácia, eficiência e satisfação, respectivamente como:

- Quantidade e qualidade de objetivos alcançados pelo usuário em uma atividade com o sistema.
- Quantidade de recursos, como tempo e esforço físico, utilizados pelo usuário para obtenção de seus objetivos em sua atividade com o sistema.
- Contentamento subjetivo dos usuários com o uso do sistema para realizar a sua atividade.

Considerando estas informações, a comparação sobre a usabilidade foi realizada apenas pela autora, de forma imparcial, onde são comparadas características sobre o tempo de construção dos modelos, facilidade de modelagem e facilidade de extração dos resultados numéricos. A comparação dos resultados numéricos é feita através de gráficos e tabelas que apresentam os valores obtidos entre as metodologias utilizadas.

⁷<<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=86090#>>. Acesso em: 27 de novembro de 2017.

4 RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados do estudo em relação aos aspectos de usabilidade das ferramentas e apresenta os resultados numéricos de atraso e comprimento de fila para os três *softwares* e velocidade para o Sidra Intersection e Aimsun.

4.1 Tempo de construção dos modelos

O tempo de construção dos modelos está diretamente relacionado com a usabilidade de cada *software*, facilidade de modelar características geométricas, demanda e volume de dados de entrada e facilidade de extração dos resultados numéricos. Nesta seção é apresentada apenas uma descrição geral sobre o tempo de construção dos modelos, uma vez que para facilitar a análise comparativa entre as ferramentas utilizadas, a apresentação destas características é feita em seções separadas.

O *software* que teve a menor demanda de tempo para a construção dos modelos foi o HCS 2010. Se o tempo de construção do modelo for um fator determinante para a escolha do *software* este é um ponto positivo para o HCS.

O Sidra Intersection foi o *software* que mais demandou tempo. Apesar de algumas etapas de modelagem desta ferramenta serem mais intuitivas que no HCS, elas são realizadas em diferentes janelas e estão disponíveis mais opções para modelar a geometria das interseções, demandando mais tempo que o HCS. Se outras características foram importantes, como visualização do desenho das interseções, o usuário deve ponderar se a simplicidade do HCS é mais relevante do que o tempo a mais demandado pelo Sidra.

Os modelos desenvolvidos no Aimsun tiveram a demanda intermediária de tempo em relação aos demais *softwares*. A maior rapidez em relação ao Sidra Intersection é devida à utilização dos *scripts*, que tornaram mais rápidos os processos de atualização da demanda e tempos semafóricos. O tempo de desenvolvimento dos *scripts* não foi levado em consideração para determinar a demanda de tempo dos *softwares*. Se o alto nível de detalhes a ser representado ou a flexibilidade de modelar diferentes desenhos for um fator determinante na escolha da ferramenta a ser utilizada, o Aimsun deve ser considerado.

4.2 Facilidade de modelagem

Em relação à modelagem das características geométricas, no HCS não existem opções de desenhos para as interseções, o tipo de interseção é escolhido de acordo com o sistema de controle adotado. Para todos os tipos é possível escolher o número de aproximações e faixas, sendo sempre considerado que

as vias e aproximações são perpendiculares entre si. Ambas as opções de definição do número de faixas e aproximações, apenas digitando os números ou utilizando o *quick entry*, fazem que esta etapa seja mais rápida que nos demais softwares. Levando estes fatores em conta, a modelagem da geometria no HCS foi um processo mais simples do que nas demais ferramentas. Neste trabalho foram escolhidas interseções utilizando como critério o HCM 2010, logo, elas são adequadas para serem modeladas no HCS, porém, as limitações de modelagem da geometria do HCS podem dificultar ou impossibilitar a análise de operação em interseções já existentes que não tenham configuração usual ou vias perpendiculares.

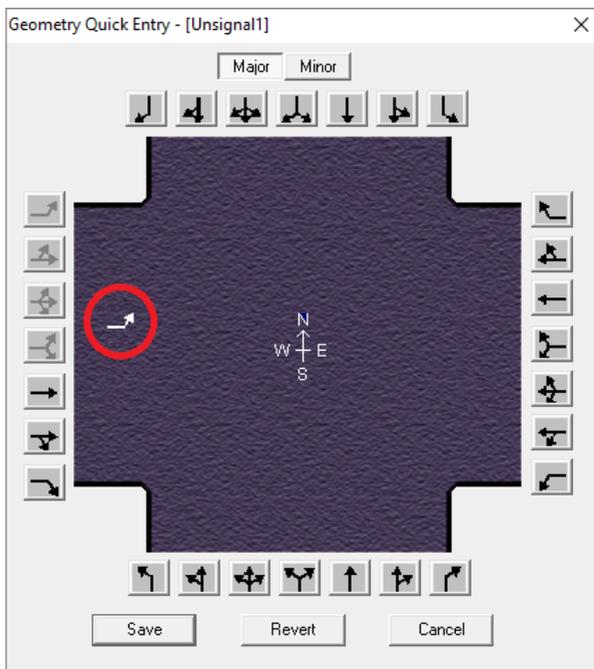
Em relação à modelagem da demanda, o processo é simples como descrito na seção 3.2.2, porém, devem ser tomados cuidados em relação à nomenclatura das aproximações. A Figura 31 apresenta um recorte do HCS 2010 onde estão relacionados os campos de preenchimento do volume de veículos com o movimento correspondente. Na Figura 31 pode ser verificado que o movimento *Eastbound - Left* é o fluxo de veículos que se origina na aproximação Oeste, ao chegar na interseção segue na direção Leste e converge à esquerda, tendo como destino final a direção Norte. A Figura 32 apresenta a configuração espacial deste movimento. Esta definição dos movimentos torna esta etapa mais difícil do que nas demais ferramentas pelo fato de não ser intuitiva.

Figura 31: Relação entre aproximação e volume no HCS 2010

Eastbound			Westbound			Northbound			Southbound		
Left	Thru	Right	Left	Thru	Right	Left	Thru	Right	Left	Thru	Right
Volume (vph)											
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Adaptado do *software* HCS 2010

Figura 32: Movimento *Eastbound - Left* no HCS 2010



Fonte: Adaptado do *software* HCS 2010

O sistema de controle já é determinado através da seleção do modelo de interseção no HCS e no Sidra, no entanto, a modelagem do tipo semaforizado no HCS foi mais difícil do que nas demais ferramentas por possuir mais campos a serem preenchidos e “caixas” a serem marcadas ou desmarcadas. Como foi adotada a metodologia do DENATRAN (1984), os cálculos do fluxo de saturação são diferentes do HCM 2010, portanto, o fluxo de saturação básico inserido foi o fluxo de saturação corrigido, com valor calculado de 1717 veic/h, e os fatores de equivalência de conversão à direita e à esquerda foram definidos como 1.

No Sidra Intersection, em relação à modelagem da geometria, existem opções de desenho das interseções e podem ser ajustadas mais características geométricas do que no HCS. O comprimento e a largura das vias das aproximações podem ser modificados. As seleções do número de faixas, movimentos permitidos e preferências são todas em janelas diferentes. Rotatórias possuem ainda mais opções para serem definidas que o tipo TWSC. Estes

pontos fazem com que a modelagem demore mais que no HCS. O grau de dificuldade de modelagem é maior que no HCS apenas por possuir mais opções e por serem em janelas diferentes. A maior diversidade de desenhos é um ponto positivo para o Sidra, pois possibilita que um número maior de interseções seja modelado, e no caso de rotatórias, mais parâmetros podem ser ajustados, aprimorando a análise.

A modelagem da demanda no Sidra Intersection foi a mais fácil dos três modelos, visto que o processo é intuitivo e o volume de veículos é preenchido diretamente selecionando cada aproximação e cada movimento realizado. Para atualizar a demanda utilizando o API do Sidra, a demanda é extraída do modelo e atualizada em forma de matriz O/D. Apesar de apresentada de forma diferente, esta forma não dificulta a modelagem da demanda.

No Aimsun todas as interseções foram construídas utilizando as ferramentas de criação de via e foram criados nós e centroides para que os movimentos fossem definidos e as matrizes O/D criadas. Apesar de existir uma ferramenta para criar rotatórias, ao reduzir o número de faixas os segmentos de circulação da rotatória ficam distorcidos, sendo necessária a readequação dos demais segmentos e dos nós que os ligam. Para criar a interseção semaforizada é possível utilizar o mesmo desenho da TWSC, porém, os conjuntos de movimentos que participam do plano semafórico devem ser selecionados nos nós. A modelagem geométrica das interseções no Aimsun foi a mais trabalhosa e a que mais demandou tempo. As interseções modeladas possuem geometria simples, entretanto, ao modelar interseções reais e com geometria alternativa, possivelmente seria necessária a utilização de imagens de satélite como plano de fundo, o que demandaria ainda mais tempo na construção dos modelos.

Em relação à modelagem do sistema de controle, as regras de preferência das interseções TWSC e rotatória são inseridas nos modelos geométricos, sendo um procedimento simples. O preenchimento das características do plano semafórico foi feito e atualizado através do *script*, facilitando esta etapa.

Sobre a modelagem da demanda, neste trabalho foram criadas inicialmente matrizes O/D para que posteriormente a demanda fosse preenchida e atualizada através dos *scripts*. A utilização dos *scripts* facilitou tal preenchimento e a atualização dos incrementos da demanda, porém, é necessário que o usuário se familiarize com programação computacional para criação e utilização dos mesmos. No Aimsun as matrizes O/D são adicionadas em uma janela denominada *traffic demand*. Ao clicar em cima de cada matriz é possível digitar um fator multiplicador para aumentar ou diminuir a demanda que foi inserida através das matrizes O/D, não sendo necessário preencher novamente os campos de volume.

4.3 Facilidade de extração dos resultados numéricos

A extração dos resultados numéricos com o HCS 2010 foi a mais simples quando comparada com as demais ferramentas. Um relatório com as saídas é apresentado diretamente na tela do modelo, como apresentado na Figura 33, para o modelo de rotatória, ou um relatório em formato de texto pode ser selecionado. Para a interseção TWSC, onde a execução do modelo foi feita através de *script*, os resultados de interesse foram exportados em um arquivo de extensão .csv.

Figura 33: Apresentação dos resultados no HCS para o modelo de rotatória

RESULTS											
Eastbound			Westbound			Northbound			Southbound		
Left	Right	Bypass	Left	Right	Bypass	Left	Right	Bypass	Left	Right	Bypass
Entry Lane Flow (pc/h)											
806			806			346			346		
Entry Lane Capacity (pc/h)											
790			790			572			572		
Lane v/c Ratio											
1.02			1.02			0.60			0.60		
Critical Lane											
x			x			x			x		
Lane Control Delay (sec/veh)											
60.1			60.1			18.5			18.5		
Lane Level of Service											
F			F			C			C		
Approach Delay (sec/veh)											
60.08			60.08			18.48			18.48		
95th-percentile Queue (veh)											
18.4			18.4			4.0			4.0		
Intersection Delay (sec/veh)											
			47.59			Intersection LOS			E		

Fonte: Adaptado do *software* HCS 2010

No Sidra Intersection a extração dos resultados foi obtida através da planilha Excel utilizada para os modelos TWSC e rotatória e diretamente no *software* para o semaforizado. As duas opções possuem formato similar, onde são exibidos resultados para a interseção como um todo, detalhadas por movimento ou por aproximação. Assim como na modelagem das interseções, o grau de dificuldade desta etapa é maior que no HCS apenas por possuir mais opções e por ser em janelas diferentes.

O Aimsun é a ferramenta que possui o maior grau de dificuldade no

processo de extração de resultados numéricos para seções de via ou movimentos. Como descrito na seção 3.5, os resultados são armazenados em arquivos *sqlite*. No caso deste trabalho, as tabelas armazenadas neste arquivo foram acessadas através dos *scripts*, onde foram selecionados resultados para as aproximações nos modelos semafórico e rotatória e para o modelo TWSC foram selecionados resultados para as aproximações da via secundária e movimento de conversão à esquerda na via principal. Foi necessário também selecionar os resultados pelo identificador de cada seção ou movimento, não sendo relevantes para este estudo os valores das vias de saída ou circulação, no caso da rotatória.

4.4 Resumo dos resultados qualitativos

A Tabela 9 apresenta um resumo dos resultados de comparação qualitativa em relação à facilidade de modelagem e extração de resultados. Nesta tabela a comparação é feita através de uma pontuação atribuída a cada *software*, onde o número 1 indica que o *software* foi o mais difícil, o número 2 é o intermediário e o número 3 indica o mais fácil entre os três analisados. Ao final da tabela é apresentado o total de pontos e o *software* que obteve a maior pontuação é o mais fácil em termos de modelagem e extração de resultados.

Tabela 9: Comparação entre os *softwares* em relação à facilidade de modelagem e extração de resultados

Modelagem	HCS	Sidra Intersection	Aimsun
Geometria	3	2	1
Demanda	1	3	2
Sistema de controle	2	3	1
Extração de resultados	3	2	1
Total	9/12	10/12	5/12

A Tabela 10 apresenta um resumo dos resultados de comparação qualitativa em relação ao tempo demandado na modelagem das interseções e para a extração de resultados. Assim como na Tabela 9, é atribuída uma pontuação a cada *software*, onde 1 indica o que menos demandou tempo, 2 é o intermediário e 3 indica o *software* que mais demandou tempo. Ao final da tabela é apresentado o total de pontos, onde o *software* que teve a maior pontuação foi o que mais demandou tempo e o com a menor pontuação foi o que menos demandou tempo.

Tabela 10: Comparação entre os *softwares* em relação ao tempo demandado de modelagem e extração de resultados

Modelagem	HCS	Sidra Intersection	Aimsun
Geometria	1	2	3
Demanda	3	2	1
Sistema de controle	2	3	1
Extração de resultados	1	2	3
Total	7/12	9/12	8/12

4.5 Resultados quantitativos

Os resultados quantitativos são apresentados primeiramente através de gráficos e após são apresentadas tabelas com os valores de saída para cada característica e cada tipo de interseção, contendo os resultados dos três *softwares*.

Foram plotados gráficos com os resultados para cada tipo de interseção e cada característica analisada. Em cada gráfico são apresentados resultados para uma das aproximações da via principal e uma das aproximações da via secundária. Esta configuração foi escolhida pelo fato das interseções terem dados geométricos e de demanda espelhados nas aproximações das vias principal e secundária. Os resultados obtidos com o HCS e com o Sidra Intersection acompanham esta simetria, ou seja, os resultados obtidos para as aproximações Norte e Sul são os mesmos, assim como os resultados obtidos nas aproximações Leste e Oeste. Isso ocorre pelo fato destes *softwares* serem determinísticos e apresentarem sempre o mesmo resultado para os mesmos dados de entrada. O Aimsun é um microssimulador com características estocásticas, sendo assim, os resultados obtidos para cada aproximação são diferentes. Para comparar os resultados do Aimsun com os demais *softwares* foi calculada a média dos resultados das aproximações Norte e Sul e dos resultados das aproximações Leste e Oeste.

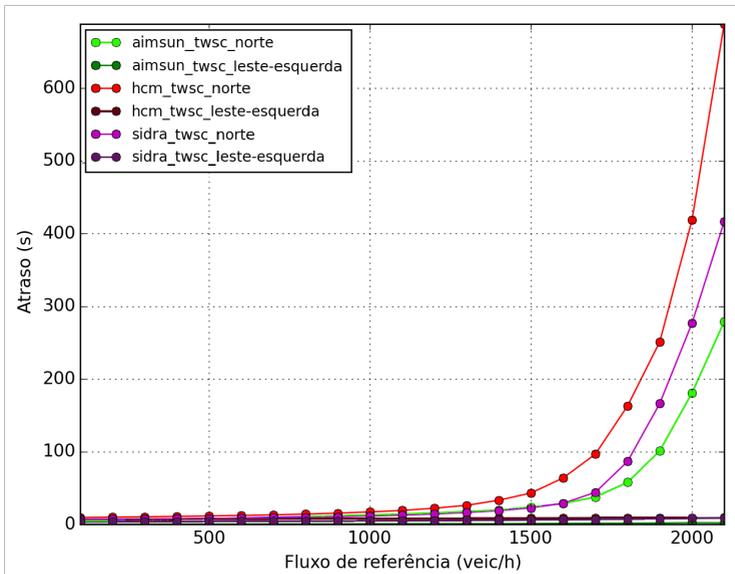
Em cada gráfico são apresentadas em linhas e cores diferentes os resultados para cada aproximação, modelados em cada *software*. Para cada interseção foi escolhido representar a aproximação secundária como “Norte” e a principal como “Leste” e no caso da interseção TWSC a principal como “Leste-esquerda”, com resultados da conversão à esquerda na via principal. Cada linha está identificada na legenda, seguindo a ordem: método, tipo de interseção e aproximação/movimento. Os resultados obtidos com o HCS 2010 estão representado como hcm na legenda dos gráficos.

Primeiramente foi modelada a interseção TWSC no HCS com a demanda total de 100 veículos de passeio, com incrementos de 100 em 100 veículos. A demanda máxima suportada pela interseção foi de 2200 veícu-

los. Com este volume de veículos a via secundária atingiu sua capacidade máxima, não sendo possível determinar as saídas de atraso e comprimento de fila. As demais interseções foram modeladas com incrementos de demanda até o valor de 2200 veículos.

A Figura 34 apresenta os resultados de atraso para a interseção TWSC. O atraso obtido para o fluxo de 2200 veículos com o HCS na via secundária foi muito maior que nas demais curvas. O gráfico da Figura 34 foi plotado sem os resultados para este valor de referência. Ao analisar a Figura 34 é possível perceber que os resultados de atraso obtidos com as três ferramentas foram mais altos na via secundária e as curvas tiveram formatos similares, sendo que até o volume de 1600 veículos as curvas do Sidra Intersection e do Aimsun ficaram muito próximas, com o Sidra apresentando valores mais altos que o Aimsun a partir deste volume e ambas com valores mais baixos que os obtidos no HCS. Na via principal, como esperado devido à preferência dos movimentos, as curvas de atraso obtido para a conversão à esquerda se mantiveram constantes e próximas ao eixo horizontal para as três ferramentas.

Figura 34: Resultados de atraso para a interseção TWSC sem o volume de 2200 veículos

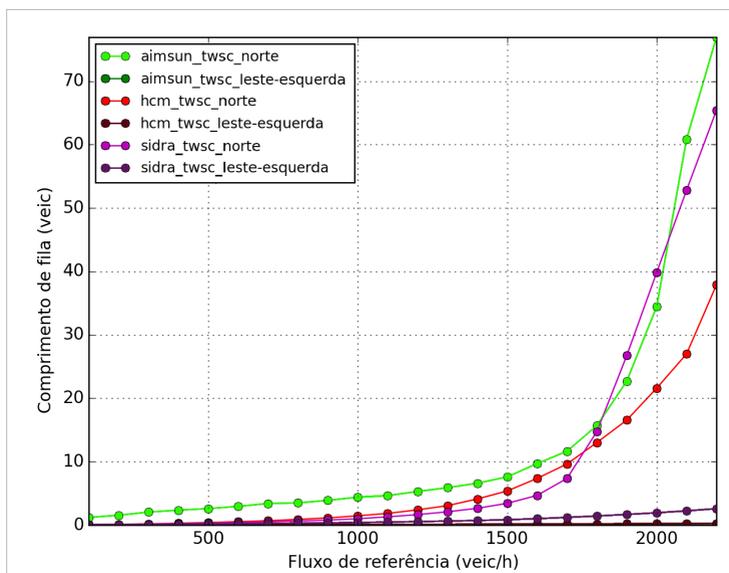


Fonte: Elaborado pela autora

Na Figura 35 são apresentados os resultados de comprimento de fila

para a interseção TWSC. Assim como nos resultados de atraso, os valores foram maiores na via secundária. Até o volume de 1600 veículos as três curvas da via secundária tiveram inclinações similares e a partir deste valor as curvas passam a ter inclinações mais acentuadas. Para a aproximação da via principal as curvas ficaram próximas ao eixo horizontal e o Sidra Intersection apresenta valores mais altos.

Figura 35: Resultados de comprimento de fila para a interseção TWSC



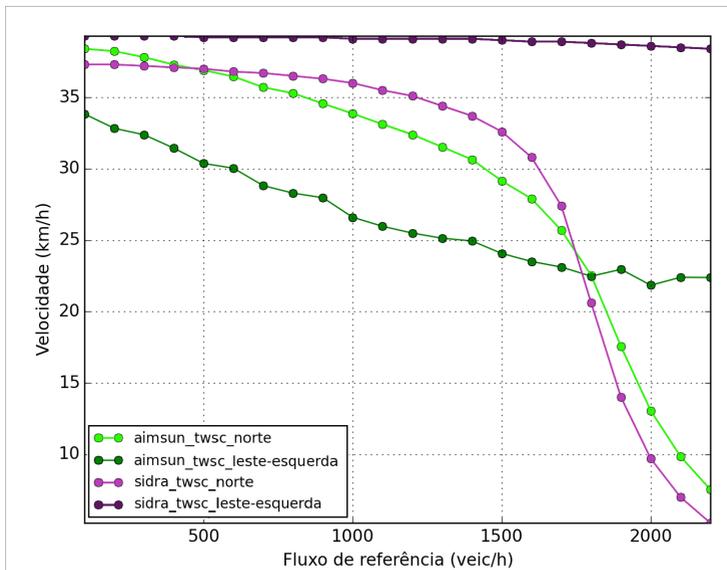
Fonte: Elaborado pela autora

Os resultados de velocidade para a interseção TWSC com as ferramentas Aimsun e Sidra Intersection são apresentadas na Figura 36. No gráfico pode ser visualizado que a curva de velocidade obtida com o Sidra Intersection para a aproximação da via principal foi a que apresentou maiores valores de velocidade. As curvas para a aproximação secundária obtidas com as duas ferramentas tiveram formato e valores similares, sendo que a velocidade decai com maior inclinação a partir do volume de referência de 1600 veículos, o que pode ser relacionado com os altos valores de atraso obtidos para este volume de referência. A curva para a aproximação da via principal apresentada pelo Aimsun foi menor que a da secundária nesta mesma ferramenta até o valor de referência de 1800 veículos. Este resultado apresenta discrepância quando comparado aos resultados de atraso e comprimento de fila, que foram

maiores na via secundária em todos os fluxos de referência.

Para tentar identificar o motivo para esta diferença, foi buscado como são definidas as velocidades em cada *software*. No Aimsun a definição da velocidade média é a velocidade é calculada usando a velocidade média da viagem pela seção para cada veículo. No Sidra Intersection, a velocidade média é definida pela distância da viagem dividida pelo tempo médio de viagem, o qual considera o efeito dos atrasos na interseção. Nas demais interseções, os resultados de velocidade foram maiores no Aimsun, salvo alguns pontos, o que pode ser explicado pelo Sidra considerar o atraso na definição da velocidade. Na interseção TWSC, como o atraso foi maior na via secundária, faz sentido que a velocidade obtida com o Sidra tenha sido maior na aproximação principal em todos os fluxos de referência, no entanto, não foi identificado porque este valor foi maior que os valores encontrados com o Aimsun. Foi visualizada a animação da simulação realizada no Aimsun para tentar identificar esta situação, porém, foi percebido apenas que para fluxos de referência mais altos a interação entre os veículos faz com que a velocidade fique mais baixa nas seções.

Figura 36: Resultados de velocidade para a interseção TWSC



Fonte: Elaborado pela autora

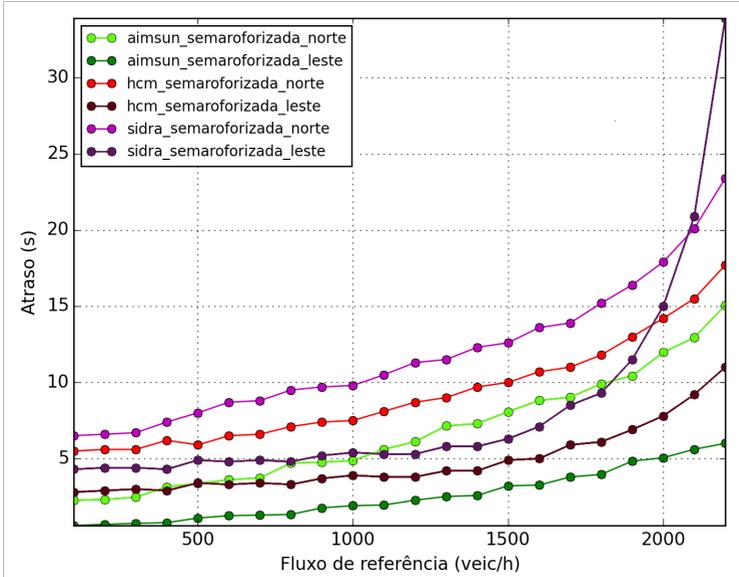
A Figura 37 apresenta os resultados de atraso obtidos para a interseção

semafORIZADA. O cálculo dos tempos de verde para cada estágio leva em consideração os volumes das aproximações, entretanto, para alguns incrementos de demanda, os novos tempos de verde aumentaram menos que 1 segundo e tiveram que ser arredondados em valores inteiros para serem aceitos nos *softwares*. É possível que os valores de atualização do tempo de verde tenham influenciado os resultados de atraso e comprimento de fila.

O método de Webster para o cálculo dos tempos de ciclo e de verde foi desenvolvido para que o atraso global na interseção seja mínimo. Nas curvas obtidas com os três *softwares* o atraso é maior na via secundária, exceto para os fluxos de referência de 2100 e 2200, com o Sidra Intersection. Foi buscado identificar o motivo desta tendência observando a simulação sendo executada no Aimsun, onde é possível ver o movimento dos veículos na interseção durante a hora analisada. Com esta observação não foi possível identificar o motivo definitivo para estes resultados, apenas que mesmo com menos veículos na via secundária, os veículos que chegam na linha de retenção da aproximação parecem ter que esperar mais tempo para receber o tempo de verde, resultando em maiores atrasos. O volume mais baixo de veículos na via secundária faz com que o estágio que atende estas aproximações receba no cálculo semafórico um tempo de verde menor que na via principal, possivelmente influenciando as curvas de atraso.

É possível perceber que a curva da via principal obtida com o Sidra Intersection cresce com inclinação maior que as demais curvas a partir do volume de 1600 veículos, apresentando o maior valor de atraso para o volume final de veículos. Como esta curva ficou muito diferente das demais, a modelagem da demanda e dos tempos semafóricos no Sidra foi conferida para identificar se ocorreu algum erro de modelagem. Não foram identificados erros, sendo que foi percebido que para valores da taxa de volume sobre capacidade (v/c) maiores que 0,7, os valores de atraso e de comprimento de fila passam a aumentar em proporção maior. Este comportamento foi observado também na interseção TWSC.

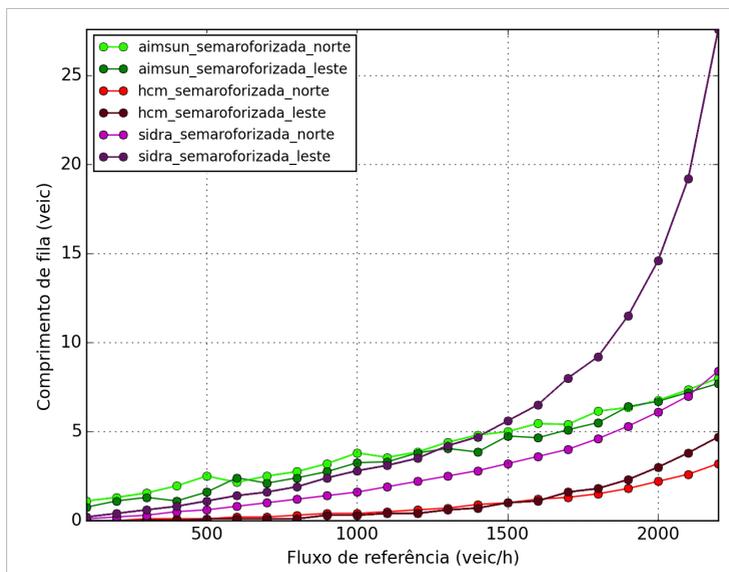
Figura 37: Resultados de atraso para a interseção semaforizada



Fonte: Elaborado pela autora

Os resultados de comprimento de fila para a interseção semaforizada são apresentados na Figura 38. As curvas obtidas com o HCS foram as com valores mais baixos de comprimento de fila para ambas as aproximações. Os resultados do Aimsun tiveram os maiores valores até o fluxo de referência de 1400 veículos, onde a curva para a aproximação principal obtida com o Sidra Intersection ultrapassa os valores de comprimento de fila e até o volume final apresenta valores bem mais altos que nas demais ferramentas.

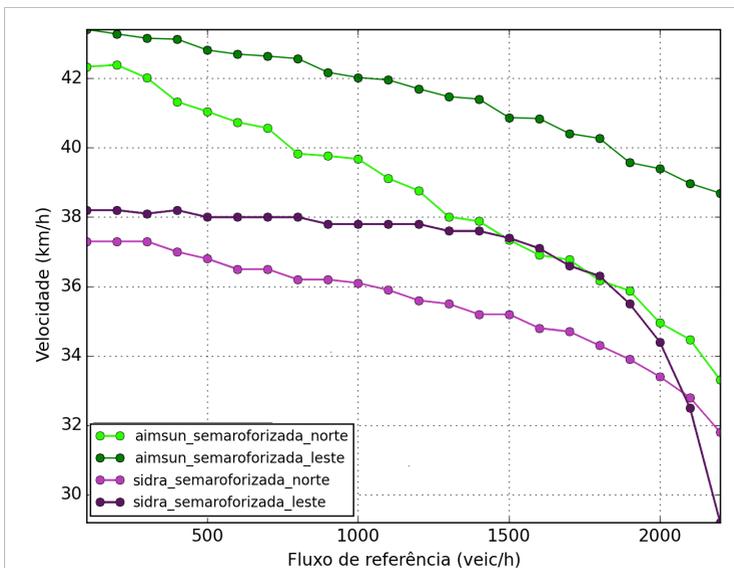
Figura 38: Resultados de comprimento de fila para a interseção semaforizada



Fonte: Elaborado pela autora

Na Figura 39 são apresentados os resultados de velocidade obtidos com o Aimsun e com o Sidra Intersection para a interseção semaforizada. Os valores apresentados pelo Aimsun foram maiores que para o Sidra Intersection em ambas as aproximações, exceto para os fluxos de referência de 1500 e 1600 veículos, onde os valores da aproximação principal no Sidra ultrapassaram o Aimsun. Tanto o Aimsun quanto o Sidra tiveram curvas de velocidade maiores para a aproximação principal, exceto o Sidra a partir do fluxo de referência de 2100 veículos. A inclinação mais acentuada e diminuição da velocidade para valores mais altos de fluxo na via principal com o Sidra acompanham os valores de atraso e comprimento de fila obtidos para esta aproximação

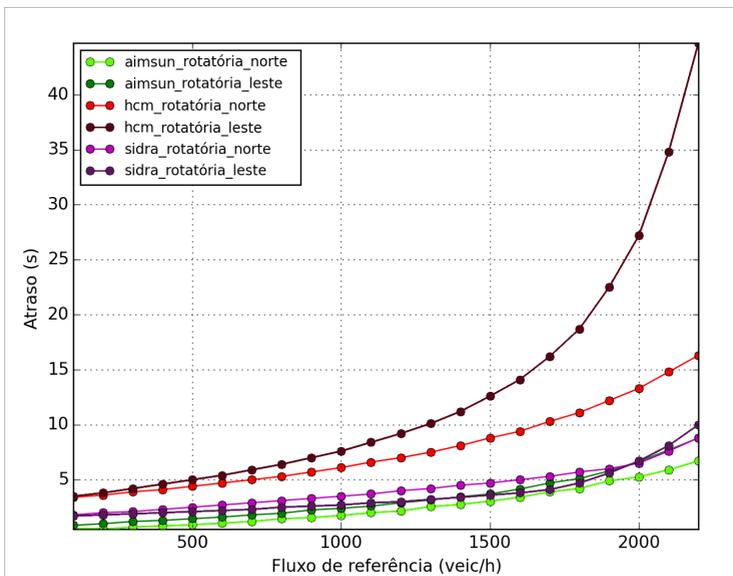
Figura 39: Resultados de velocidade para a interseção semaforizada



Fonte: Elaborado pela autora

Os resultados de atraso da rotatória podem ser visualizados na Figura 40. É possível identificar que os resultados obtidos com o HCS tiveram os maiores atrasos, sendo que a aproximação da via principal teve o maior atraso. Como na rotatória todas as aproximações possuem a mesma regra de preferência, em que os veículos devem dar preferência ao fluxo já circulante, este resultado pode ser explicado pelo maior volume de veículos na via principal. Os valores obtidos com o Aimsun também apresentaram valores de atraso maiores para a via principal, apesar de muito próximos aos obtidos para a via secundária, sendo que para uma maior quantidade de volumes de referência, as curvas obtidas com o Aimsun foram as que apresentaram os menores valores de atraso. Exceto para valores de fluxo de referência maiores que 2000 veículos, o atraso obtido com o Sidra Intersection não acompanhou esta tendência de valores maiores para a aproximação da via principal, as curvas obtidas para as aproximações foram similares e os valores muito próximos aos obtidos com o Aimsun.

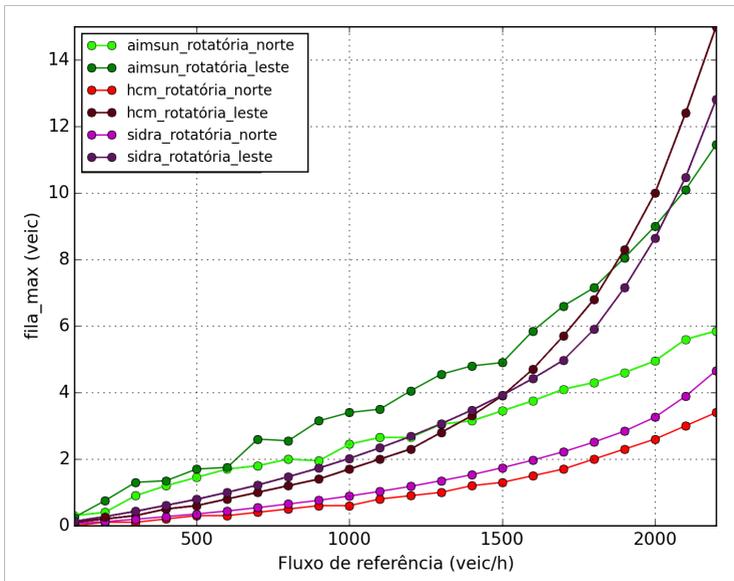
Figura 40: Resultados de atraso para a rotatória



Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 41 traz os resultados de comprimento de fila para a rotatória. Os resultados obtidos com as três ferramentas foram maiores para a aproximação da via principal. Como nos valores de atraso, isto pode ser explicado pelo maior volume de veículos nesta via. As curvas obtidas com o HCS e com o Sidra Intersection foram similares tanto para os valores obtidos na via secundária como na principal, onde o HCS apresentou valores mais altos que o Sidra a partir do volume de referência de 1500 veículos. O Aimsun apresentou curvas com os maiores valores para a via principal até o valor de referência de 1800 veículos, quando foi ultrapassado pelo HCS, e apresentou valores mais altos para a via secundária até o volume de referência de 1100 veículos.

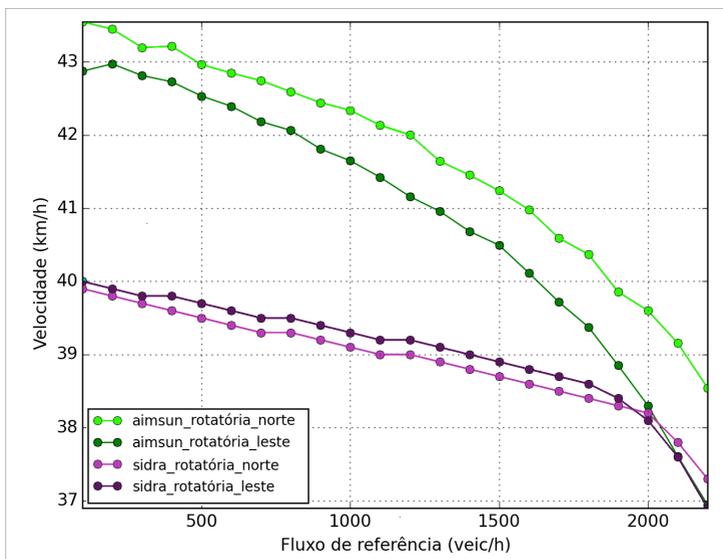
Figura 41: Resultados de comprimento de fila para a rotatória



Fonte: Elaborado pela autora

São apresentados na Figura 42 os resultados de velocidade obtidos com o Aimsun e com o Sidra Intersection para a rotatória. As curvas do Aimsun apresentaram valores maiores de velocidade que o Sidra Intersection. Os resultados das duas técnicas se diferenciaram também pelo Aimsun apresentar valores maiores para via secundária e o Sidra para a principal, apesar de muito similares.

Figura 42: Resultados de velocidade para a rotatória



Fonte: Elaborado pela autora

Na sequência são apresentadas as tabelas com os resultados numéricos obtidos nos *softwares*. Assim como nos gráficos, a aproximação Norte é a aproximação da via secundária e a aproximação Leste se refere à aproximação da via principal. Para a interseção TWSC os resultados da via principal estão denominados como “Leste-esquerda”, pois são referentes aos resultados obtidos para a conversão à esquerda na via principal. Os valores de atraso apresentados tem unidade em segundos, os valores de comprimento de fila são medidos em veículos e a velocidade em quilômetros por hora.

A Tabela 11, que pode ser encontrada na página 105, apresenta os resultados de atraso para a interseção TWSC e a diferença entre os valores obtidos com o HCS e Sidra Intersection, e HCS e Aimsun. É possível observar que até o fluxo de referência de 1300 veículos as diferenças entre os três *softwares* para as duas aproximações foram menores que 10 segundos, sendo que a maior diferença encontrada para a aproximação principal foi entre o HCS e o Aimsun, com valor de 7,4 segundos para o fluxo de 1400 veículos. Para a aproximação secundária, a partir do fluxo de 1400 veículos as diferenças entre o HCS e os demais *softwares* passaram a aumentar a cada incremento no fluxo de referência, apresentando a maior diferença entre o HCS

e o Aimsun para o fluxo de 2200 veículos. Até o fluxo de 1600 veículos, os valores para a aproximação Norte obtidos com o Sidra e o Aimsun foram muito similares, com diferenças menores que 2 segundos. Na aproximação principal as menores diferenças foram verificadas entre o HCS e o Sidra. Assim como nos gráficos, é observado que os valores de atraso obtidos para a via secundária foram maiores que a principal em todos os *softwares*, sendo que o Aimsun apresentou os menores valores de atraso na via principal.

A Tabela 12, encontrada na página 106, apresenta os resultados de comprimento de fila para a interseção TWSC e a diferença entre os valores obtidos com o HCS e Sidra Intersection, e HCS e Aimsun. A diferença entre os resultados obtidos foi menor do que nos valores obtidos para a característica atraso. Na aproximação principal a diferença entre os três *softwares* foi menor que 3 veículos para todos os fluxos de referência. Na aproximação secundária até o fluxo de 1800 veículos a diferença foi menor que 6 veículos e a maior diferença foi entre o HCS e o Aimsun para o fluxo de 2200 veículos, com valor de 39,1.

A Tabela 13, encontrada na página 107, apresenta os resultados de velocidade para a interseção TWSC e a diferença entre os valores obtidos com o Sidra Intersection e o Aimsun. As diferenças encontradas foram menores para a aproximação secundária. Para a aproximação principal as diferenças foram aumentando a cada incremento no fluxo de referência até o fluxo de 2000 veículos. Estas diferenças são evidenciadas no gráfico de velocidade desta interseção, onde é possível verificar que as curvas para a aproximação secundária são mais similares e próximas do que para a aproximação principal.

A Tabela 14, que pode ser encontrada na página 108, apresenta os resultados de atraso para a interseção semaforizada e a diferença entre os valores obtidos com o HCS e os demais *softwares*. Apesar de existir uma pequena diferença entre os atrasos na via principal e na secundária, o controle semaforístico neste interseção possibilita um tempo exclusivo para os movimentos da aproximação secundária serem executados, de forma a diminuir o atraso nesta aproximação em relação à interseção TWSC, onde os veículos devem esperar uma brecha no fluxo da principal. As diferenças entre os *softwares* tiveram pouca variação ao longo dos incrementos de demanda, exceto no Sidra Intersection para valores mais altos de demanda, em especial na aproximação principal, onde a demanda é maior.

A Tabela 15, localizada na página 109, apresenta os resultados de comprimento de fila para a interseção semaforizada e a diferença entre os valores obtidos entre o HCS e os demais *softwares*. Como percebido no gráfico, os valores de comprimento de fila obtidos com o HCS foram os mais baixos. Até o fluxo de referência de 1400 veículos na aproximação secundária as meno-

res diferenças foram encontradas entre o HCS e o Sidra Intersection, a partir deste fluxo as diferenças passam a ser menores entre o Sidra e o Aimsun. Na aproximação principal de forma geral as menores diferenças foram obtidas entre o Sidra e o Aimsun até o fluxo de referência de 1800 veículos, a partir do qual as diferenças são menores entre o HCS e o Aimsun. A maior diferença encontrada é entre o HCS e o Sidra na aproximação principal para o fluxo de 2200 veículos.

A Tabela 16, localizada na página 110, apresenta os resultados de velocidade para a interseção semaforizada e a diferença entre os valores obtidos com o Sidra Intersection e com o Aimsun. Para a aproximação secundária, de forma geral, as diferenças entre os *softwares* diminuem com os incrementos do fluxo de referência, as diferenças para a aproximação secundária acompanham esta tendência até o fluxo de referência de 1500 veículos, a partir do qual a diferença passa aumentar com os incrementos. As diferenças entre as duas aproximações foram menores que na interseção TWSC, acompanhando os as diferenças entre as aproximações para as características atraso e comprimento de fila na interseção semaforizada.

A Tabela 17, que está na página 111, mostra os resultados de atraso para a rotatória e a diferença entre os valores obtidos com o HCS e os demais *softwares*. As menores diferenças obtidas foram para a aproximação principal entre o Sidra e o Aimsun, com valores menores que 1 segundo para todos os fluxos de referência exceto o de 2200 veículos. Para as demais comparações obtidas nesta aproximação as diferenças aumentaram com o aumento do fluxo de referência. A aproximação secundária acompanhou este mesmo padrão, sendo que as menores diferenças foram obtidas entre o Sidra e o Aimsun, com valores menores que 2 segundos para todos os fluxos de referência exceto o de 2200 veículos, com valor de 2,1 segundos de diferença apenas.

A Tabela 18, encontrada na página 112, apresenta os resultados de comprimento de fila para a rotatória e a diferença entre os valores obtidos com o HCS e os demais *softwares*. As menores diferenças foram encontradas entre o HCS e o Sidra Intersection nas duas aproximações, exceto para o fluxo de 2200 na aproximação Norte, que teve menor diferença entre o Sidra e o Aimsun e exceto para os fluxos de referência a partir de 1800 veículos na aproximação Leste, onde as diferenças foram menores para o Sidra e Aimsun dos fluxos de 2000 a 2200 veículos.

A Tabela 19, encontrada na página 113, apresenta os resultados de velocidade para a rotatória e a diferença entre os valores obtidos com o Sidra e com o Aimsun. De forma geral, em ambas as aproximações as diferenças entre as velocidades diminuíram com o aumento do fluxo de referência, chegando a zero na aproximação principal para os fluxos de referência de 2100 e 2200 veículos. As diferenças encontradas para esta interseção foram menores

do que as encontradas para a interseção semafórica.

Tabela 11: Resultados de atraso para a interseção TWSC e diferenças nos valores entre os *softwares*

Fluxo de Referência	Aproximação/ Movimento	HCS	Sidra Intersection	Aimsun	≠ HCS e Sidra	≠ HCS e Aimsun
100	Norte	9,4	6,8	5,8	2,6	3,6
100	Leste-esquerda	7,3	3,6	0,1	3,7	7,2
200	Norte	9,9	7,0	6,3	2,9	3,6
200	Leste-esquerda	7,3	3,7	0,1	3,6	7,2
300	Norte	10,3	7,4	6,8	2,9	3,5
300	Leste-esquerda	7,4	3,8	0,2	3,6	7,2
400	Norte	10,9	7,7	7,5	3,2	3,4
400	Leste-esquerda	7,5	3,9	0,2	3,6	7,3
500	Norte	11,5	8,1	8,2	3,4	3,3
500	Leste-esquerda	7,5	4,0	0,3	3,5	7,2
600	Norte	12,2	8,6	8,8	3,6	3,4
600	Leste-esquerda	7,6	4,2	0,4	3,4	7,2
700	Norte	13	9,1	9,9	3,9	3,1
700	Leste-esquerda	7,7	4,3	0,5	3,4	7,2
800	Norte	14,1	9,7	10,5	4,4	3,6
800	Leste-esquerda	7,8	4,5	0,6	3,3	7,2
900	Norte	15,4	10,4	11,7	5,0	3,7
900	Leste-esquerda	7,9	4,6	0,6	3,3	7,3
1000	Norte	17,1	11,4	13,0	5,7	4,1
1000	Leste-esquerda	7,9	4,8	0,8	3,1	7,1
1100	Norte	19,1	12,6	14,2	6,5	4,9
1100	Leste-esquerda	8,0	5,0	0,8	3,0	7,2
1200	Norte	22,2	14,2	15,8	8,0	6,4
1200	Leste-esquerda	8,1	5,3	0,9	2,8	7,2
1300	Norte	26,1	16,2	17,6	9,9	8,5
1300	Leste-esquerda	8,2	5,5	0,9	2,7	7,3
1400	Norte	33,2	18,8	19,5	14,4	13,7
1400	Leste-esquerda	8,3	5,8	0,9	2,5	7,4
1500	Norte	43,1	22,6	23,6	20,5	19,5
1500	Leste-esquerda	8,4	6,1	1,1	2,3	7,3
1600	Norte	63,8	29,0	28,7	34,8	35,1
1600	Leste-esquerda	8,5	6,4	1,3	2,1	7,2
1700	Norte	96,6	44,0	37,6	52,6	59,0
1700	Leste-esquerda	8,7	6,8	1,4	1,9	7,3
1800	Norte	162,9	86,5	57,9	76,4	105,0
1800	Leste-esquerda	8,8	7,3	1,5	1,5	7,3
1900	Norte	251,2	166,3	101,2	84,9	150,0
1900	Leste-esquerda	8,9	7,8	1,8	1,1	7,1
2000	Norte	418,5	276,6	180,7	141,9	237,8
2000	Leste-esquerda	9,0	8,3	2,3	0,7	6,7
2100	Norte	688,3	416,5	278,7	271,8	409,6
2100	Leste-esquerda	9,2	8,9	2,1	0,3	7,1
2200	Norte	2503,0	591,5	381,8	1911,5	2121,2
2200	Leste-esquerda	9,3	9,6	2,9	-0,3	6,4

Tabela 12: Resultados de comprimento de fila para a interseção TWSC e diferenças nos valores entre os *softwares*

Fluxo de Referência	Aproximação/ Movimento	HCS	Sidra Intersection	Aimsun	≠ HCS e Sidra	≠ HCS e Aimsun
100	Norte	0,1	0,1	1,2	0,0	-1,1
100	Leste-esquerda	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
200	Norte	0,1	0,1	1,6	0,0	-1,5
200	Leste-esquerda	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0
300	Norte	0,2	0,2	2,1	0,0	-1,9
300	Leste-esquerda	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0
400	Norte	0,3	0,2	2,4	0,1	-2,1
400	Leste-esquerda	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0
500	Norte	0,4	0,3	2,6	0,1	-2,2
500	Leste-esquerda	0,0	0,2	0,0	-0,2	0,0
600	Norte	0,5	0,4	3,0	0,1	-2,5
600	Leste-esquerda	0,1	0,2	0,0	-0,1	0,1
700	Norte	0,7	0,5	3,4	0,2	-2,7
700	Leste-esquerda	0,1	0,2	0,0	-0,1	0,1
800	Norte	0,9	0,6	3,5	0,3	-2,6
800	Leste-esquerda	0,1	0,3	0,0	-0,2	0,1
900	Norte	1,1	0,8	3,9	0,3	-2,8
900	Leste-esquerda	0,1	0,3	0,0	-0,2	0,1
1000	Norte	1,5	1,0	4,4	0,5	-2,9
1000	Leste-esquerda	0,1	0,4	0,0	-0,3	0,1
1100	Norte	1,8	1,3	4,7	0,5	-2,9
1100	Leste-esquerda	0,1	0,5	0,0	-0,4	0,1
1200	Norte	2,4	1,7	5,3	0,7	-2,9
1200	Leste-esquerda	0,1	0,6	0,0	-0,5	0,1
1300	Norte	3,1	2,1	5,9	1,0	-2,8
1300	Leste-esquerda	0,1	0,6	0,0	-0,5	0,1
1400	Norte	4,1	2,7	6,6	1,4	-2,5
1400	Leste-esquerda	0,1	0,7	0,0	-0,6	0,1
1500	Norte	5,4	3,4	7,6	2,0	-2,2
1500	Leste-esquerda	0,2	0,8	0,0	-0,6	0,2
1600	Norte	7,4	4,7	9,7	2,7	-2,3
1600	Leste-esquerda	0,2	1,0	0,0	-0,8	0,2
1700	Norte	9,6	7,4	11,7	2,2	-2,1
1700	Leste-esquerda	0,2	1,2	0,0	-1,0	0,2
1800	Norte	13,0	14,8	15,7	-1,8	-2,7
1800	Leste-esquerda	0,2	1,4	0,0	-1,2	0,2
1900	Norte	16,6	26,7	22,7	-10,1	-6,1
1900	Leste-esquerda	0,2	1,7	0,0	-1,5	0,2
2000	Norte	21,6	39,8	34,5	-18,2	-12,9
2000	Leste-esquerda	0,2	1,9	0,0	-1,7	0,2
2100	Norte	27,0	52,8	60,9	-25,8	-33,9
2100	Leste-esquerda	0,3	2,2	0,0	-1,9	0,3
2200	Norte	37,9	65,4	77,0	-27,5	-39,1
2200	Leste-esquerda	0,3	2,6	0,0	-2,3	0,3

Tabela 13: Resultados de velocidade para a interseção TWSC e diferenças nos valores entre o Sidra Intersection e Aimsun

Fluxo de Referência	Aproximação/ Movimento	Sidra Intersection	Aimsun	≠ Sidra e Aimsun
100	Norte	37,3	38,4	-1,1
100	Leste-esquerda	39,3	33,8	5,5
200	Norte	37,3	38,2	-0,9
200	Leste-esquerda	39,3	32,8	6,5
300	Norte	37,2	37,8	-0,6
300	Leste-esquerda	39,3	32,4	6,9
400	Norte	37,1	37,3	-0,2
400	Leste-esquerda	39,3	31,4	7,9
500	Norte	37,0	36,9	0,1
500	Leste-esquerda	39,2	30,4	8,8
600	Norte	36,8	36,5	0,3
600	Leste-esquerda	39,2	30,0	9,2
700	Norte	36,7	35,7	1,0
700	Leste-esquerda	39,2	28,8	10,4
800	Norte	36,5	35,3	1,2
800	Leste-esquerda	39,2	28,3	10,9
900	Norte	36,3	34,6	1,7
900	Leste-esquerda	39,2	28,0	11,2
1000	Norte	36,0	33,9	2,1
1000	Leste-esquerda	39,1	26,6	12,5
1100	Norte	35,5	33,1	2,4
1100	Leste-esquerda	39,1	26,0	13,1
1200	Norte	35,1	32,4	2,7
1200	Leste-esquerda	39,1	25,5	13,6
1300	Norte	34,4	31,5	2,9
1300	Leste-esquerda	39,1	25,1	14,0
1400	Norte	33,7	30,6	3,1
1400	Leste-esquerda	39,1	24,9	14,2
1500	Norte	32,6	29,2	3,4
1500	Leste-esquerda	39,0	24,1	14,9
1600	Norte	30,8	27,9	2,9
1600	Leste-esquerda	38,9	23,5	15,4
1700	Norte	27,4	25,7	1,7
1700	Leste-esquerda	38,9	23,1	15,8
1800	Norte	20,6	22,5	-1,9
1800	Leste-esquerda	38,8	22,5	16,3
1900	Norte	14,0	17,6	-3,6
1900	Leste-esquerda	38,7	23,0	15,7
2000	Norte	9,7	13,1	-3,4
2000	Leste-esquerda	38,6	21,8	16,8
2100	Norte	7,0	9,8	-2,8
2100	Leste-esquerda	38,5	22,4	16,1
2200	Norte	5,2	7,5	-2,3
2200	Leste-esquerda	38,4	22,4	16,0

Tabela 14: Resultados de atraso para a interseção semaforizada e diferenças nos valores entre os *softwares*

Fluxo de Referência	Aproximação	HCS	Sidra Intersection	Aimsun	≠ HCS e Sidra	≠ HCS e Aimsun
100	Norte	5,5	6,5	2,3	-1,0	3,2
100	Leste	2,8	4,3	0,6	-1,5	2,2
200	Norte	5,6	6,6	2,3	-1,0	3,3
200	Leste	2,9	4,4	0,7	-1,5	2,2
300	Norte	5,6	6,7	2,5	-1,1	3,1
300	Leste	3,0	4,4	0,8	-1,4	2,2
400	Norte	6,2	7,4	3,1	-1,2	3,1
400	Leste	2,9	4,3	0,8	-1,4	2,1
500	Norte	5,9	8,0	3,4	-2,1	2,5
500	Leste	3,4	4,9	1,1	-1,5	2,3
600	Norte	6,5	8,7	3,6	-2,2	2,9
600	Leste	3,3	4,8	1,3	-1,5	2,0
700	Norte	6,6	8,8	3,7	-2,2	2,9
700	Leste	3,4	4,9	1,3	-1,5	2,1
800	Norte	7,1	9,5	4,7	-2,4	2,4
800	Leste	3,3	4,8	1,3	-1,5	2,0
900	Norte	7,4	9,7	4,8	-2,3	2,6
900	Leste	3,7	5,2	1,8	-1,5	1,9
1000	Norte	7,5	9,8	4,9	-2,3	2,6
1000	Leste	3,9	5,4	1,9	-1,5	2,0
1100	Norte	8,1	10,5	5,6	-2,4	2,5
1100	Leste	3,8	5,3	2,0	-1,5	1,8
1200	Norte	8,7	11,3	6,1	-2,6	2,6
1200	Leste	3,8	5,3	2,3	-1,5	1,5
1300	Norte	9,0	11,5	7,1	-2,5	1,9
1300	Leste	4,2	5,8	2,5	-1,6	1,7
1400	Norte	9,7	12,3	7,3	-2,6	2,4
1400	Leste	4,2	5,8	2,6	-1,6	1,6
1500	Norte	10,0	12,6	8,1	-2,6	1,9
1500	Leste	4,9	6,3	3,2	-1,4	1,7
1600	Norte	10,7	13,6	8,8	-2,9	1,9
1600	Leste	5,0	7,1	3,3	-2,1	1,7
1700	Norte	11,0	13,9	9,0	-2,9	2,0
1700	Leste	5,9	8,5	3,8	-2,6	2,1
1800	Norte	11,8	15,2	9,9	-3,4	1,9
1800	Leste	6,1	9,3	4,0	-3,2	2,1
1900	Norte	13,0	16,4	10,4	-3,4	2,6
1900	Leste	6,9	11,5	4,8	-4,6	2,1
2000	Norte	14,2	17,9	12,0	-3,7	2,2
2000	Leste	7,8	15,0	5,1	-7,2	2,7
2100	Norte	15,5	20,1	12,9	-4,6	2,6
2100	Leste	9,2	20,9	5,6	-11,7	3,6
2200	Norte	17,7	23,4	15,1	-5,7	2,6
2200	Leste	11,0	33,9	6,0	-22,9	5,0

Tabela 15: Resultados de comprimento de fila para a interseção semaforizada e diferenças nos valores entre os *softwares*

Fluxo de Referência	Aproximação	HCS	Sidra Intersection	Aimsun	≠ HCS e Sidra	≠ HCS e Aimsun
100	Norte	0,0	0,1	1,1	-0,1	-1,1
100	Leste	0,0	0,2	0,8	-0,2	-0,8
200	Norte	0,0	0,2	1,3	-0,2	-1,3
200	Leste	0,0	0,4	1,1	-0,4	-1,1
300	Norte	0,1	0,3	1,6	-0,2	-1,5
300	Leste	0,0	0,6	1,3	-0,6	-1,3
400	Norte	0,1	0,5	2,0	-0,4	-1,9
400	Leste	0,0	0,8	1,1	-0,8	-1,1
500	Norte	0,1	0,6	2,5	-0,5	-2,4
500	Leste	0,1	1,1	1,6	-1,0	-1,5
600	Norte	0,2	0,8	2,2	-0,6	-2,0
600	Leste	0,1	1,4	2,4	-1,3	-2,3
700	Norte	0,2	1,0	2,5	-0,8	-2,3
700	Leste	0,1	1,6	2,1	-1,5	-2,0
800	Norte	0,3	1,2	2,8	-0,9	-2,5
800	Leste	0,1	1,9	2,4	-1,8	-2,3
900	Norte	0,4	1,4	3,2	-1,0	-2,8
900	Leste	0,3	2,4	2,8	-2,1	-2,5
1000	Norte	0,4	1,6	3,8	-1,2	-3,4
1000	Leste	0,3	2,8	3,3	-2,5	-3,0
1100	Norte	0,5	1,9	3,6	-1,4	-3,1
1100	Leste	0,4	3,1	3,3	-2,7	-2,9
1200	Norte	0,6	2,2	3,9	-1,6	-3,3
1200	Leste	0,4	3,5	3,8	-3,1	-3,4
1300	Norte	0,7	2,5	4,4	-1,8	-3,7
1300	Leste	0,6	4,2	4,1	-3,6	-3,5
1400	Norte	0,9	2,8	4,8	-1,9	-3,9
1400	Leste	0,7	4,7	3,9	-4,0	-3,2
1500	Norte	1,0	3,2	5,0	-2,2	-4,0
1500	Leste	1,0	5,6	4,8	-4,6	-3,8
1600	Norte	1,2	3,6	5,5	-2,4	-4,3
1600	Leste	1,1	6,5	4,7	-5,4	-3,6
1700	Norte	1,3	4,0	5,4	-2,7	-4,1
1700	Leste	1,6	8,0	5,1	-6,4	-3,5
1800	Norte	1,5	4,6	6,2	-3,1	-4,7
1800	Leste	1,8	9,2	5,5	-7,4	-3,7
1900	Norte	1,8	5,3	6,4	-3,5	-4,6
1900	Leste	2,3	11,5	6,4	-9,2	-4,1
2000	Norte	2,2	6,1	6,8	-3,9	-4,6
2000	Leste	3,0	14,6	6,7	-11,6	-3,7
2100	Norte	2,6	7,0	7,4	-4,4	-4,8
2100	Leste	3,8	19,2	7,2	-15,4	-3,4
2200	Norte	3,2	8,4	8,0	-5,2	-4,8
2200	Leste	4,7	27,6	7,7	-22,9	-3,0

Tabela 16: Resultados de velocidade para a interseção semaforizada e diferenças nos valores entre o Sidra Intersection e Aimsun

Fluxo de Referência	Aproximação	Sidra Intersection	Aimsun	≠ Sidra e Aimsun
100	Norte	37,3	42,3	-5,0
100	Leste	38,2	43,4	-5,2
200	Norte	37,3	42,4	-5,1
200	Leste	38,2	43,3	-5,1
300	Norte	37,3	42,0	-4,7
300	Leste	38,1	43,2	-5,1
400	Norte	37,0	41,3	-4,3
400	Leste	38,2	43,1	-4,9
500	Norte	36,8	41,0	-4,2
500	Leste	38,0	42,8	-4,8
600	Norte	36,5	40,7	-4,2
600	Leste	38,0	42,7	-4,7
700	Norte	36,5	40,6	-4,1
700	Leste	38,0	42,6	-4,6
800	Norte	36,2	39,8	-3,6
800	Leste	38,0	42,6	-4,6
900	Norte	36,2	39,8	-3,6
900	Leste	37,8	42,2	-4,4
1000	Norte	36,1	39,7	-3,6
1000	Leste	37,8	42,0	-4,2
1100	Norte	35,9	39,1	-3,2
1100	Leste	37,8	42,0	-4,2
1200	Norte	35,6	38,8	-3,2
1200	Leste	37,8	41,7	-3,9
1300	Norte	35,5	38,0	-2,5
1300	Leste	37,6	41,5	-3,9
1400	Norte	35,2	37,9	-2,7
1400	Leste	37,6	41,4	-3,8
1500	Norte	35,2	37,3	-2,1
1500	Leste	37,4	40,9	-3,5
1600	Norte	34,8	36,9	-2,1
1600	Leste	37,1	40,8	-3,7
1700	Norte	34,7	36,8	-2,1
1700	Leste	36,6	40,4	-3,8
1800	Norte	34,3	36,2	-1,9
1800	Leste	36,3	40,3	-4,0
1900	Norte	33,9	35,9	-2,0
1900	Leste	35,5	39,6	-4,1
2000	Norte	33,4	35,0	-1,6
2000	Leste	34,4	39,4	-5,0
2100	Norte	32,8	34,5	-1,7
2100	Leste	32,5	39,0	-6,5
2200	Norte	31,8	33,3	-1,5
2200	Leste	29,2	38,7	-9,5

Tabela 17: Resultados de atraso para a rotatória e diferenças nos valores entre os *softwares*

Fluxo de Referência	Aproximação	HCS	Sidra Intersection	Aimsun	≠ HCS e Sidra	≠ HCS e Aimsun
100	Norte	3,4	1,8	0,5	1,6	2,9
100	Leste	3,5	1,7	0,9	1,8	2,6
200	Norte	3,6	2,0	0,5	1,6	3,1
200	Leste	3,8	1,8	1,0	2,0	2,8
300	Norte	3,9	2,1	0,7	1,8	3,2
300	Leste	4,2	1,9	1,2	2,3	3,0
400	Norte	4,1	2,3	0,8	1,8	3,3
400	Leste	4,6	2,0	1,3	2,6	3,3
500	Norte	4,4	2,5	0,9	1,9	3,5
500	Leste	5,0	2,1	1,5	2,9	3,5
600	Norte	4,7	2,7	1,1	2,0	3,6
600	Leste	5,4	2,2	1,6	3,2	3,8
700	Norte	5,0	2,9	1,2	2,1	3,8
700	Leste	5,9	2,3	1,8	3,6	4,1
800	Norte	5,3	3,1	1,5	2,2	3,8
800	Leste	6,4	2,5	2,0	3,9	4,4
900	Norte	5,7	3,3	1,6	2,4	4,1
900	Leste	7,0	2,6	2,3	4,4	4,7
1000	Norte	6,1	3,5	1,8	2,6	4,3
1000	Leste	7,6	2,7	2,4	4,9	5,2
1100	Norte	6,6	3,7	2,0	2,9	4,6
1100	Leste	8,4	2,9	2,6	5,5	5,8
1200	Norte	7,0	4,0	2,2	3,0	4,8
1200	Leste	9,2	3,0	2,9	6,2	6,3
1300	Norte	7,5	4,2	2,6	3,3	4,9
1300	Leste	10,1	3,2	3,2	6,9	6,9
1400	Norte	8,1	4,5	2,8	3,6	5,3
1400	Leste	11,2	3,4	3,5	7,8	7,7
1500	Norte	8,8	4,7	3,1	4,1	5,7
1500	Leste	12,6	3,6	3,7	9,0	8,9
1600	Norte	9,4	5,0	3,4	4,4	6,0
1600	Leste	14,1	3,8	4,2	10,3	9,9
1700	Norte	10,3	5,3	3,9	5,0	6,4
1700	Leste	16,2	4,1	4,7	12,1	11,5
1800	Norte	11,1	5,7	4,2	5,4	6,9
1800	Leste	18,7	4,7	5,1	14	13,6
1900	Norte	12,2	6,0	4,9	6,2	7,3
1900	Leste	22,5	5,6	5,8	16,9	16,7
2000	Norte	13,3	6,5	5,3	6,8	8,0
2000	Leste	27,2	6,7	6,7	20,5	20,5
2100	Norte	14,8	7,6	5,9	7,2	8,9
2100	Leste	34,8	8,1	7,7	26,7	27,1
2200	Norte	16,3	8,8	6,7	7,5	9,6
2200	Leste	44,7	10,0	8,8	34,7	35,9

Tabela 18: Resultados de comprimento de fila para a rotatória e diferenças nos valores entre os *softwares*

Fluxo de Referência	Aproximação	HCS	Sidra Intersection	Aimsun	≠ HCS e Sidra	≠ HCS e Aimsun
100	Norte	0,0	0,1	0,3	-0,1	-0,3
100	Leste	0,1	0,1	0,3	0,0	-0,2
200	Norte	0,1	0,1	0,4	0,0	-0,3
200	Leste	0,2	0,3	0,8	-0,1	-0,6
300	Norte	0,1	0,2	0,9	-0,1	-0,8
300	Leste	0,3	0,4	1,3	-0,1	-1,0
400	Norte	0,2	0,3	1,2	-0,1	-1,0
400	Leste	0,5	0,6	1,4	-0,1	-0,9
500	Norte	0,3	0,4	1,5	-0,1	-1,2
500	Leste	0,6	0,8	1,7	-0,2	-1,1
600	Norte	0,3	0,4	1,7	-0,1	-1,4
600	Leste	0,8	1,0	1,8	-0,2	-1,0
700	Norte	0,4	0,5	1,8	-0,1	-1,4
700	Leste	1,0	1,2	2,6	-0,2	-1,6
800	Norte	0,5	0,7	2,0	-0,2	-1,5
800	Leste	1,2	1,5	2,6	-0,3	-1,4
900	Norte	0,6	0,8	2,0	-0,2	-1,4
900	Leste	1,4	1,7	3,2	-0,3	-1,8
1000	Norte	0,6	0,9	2,5	-0,3	-1,9
1000	Leste	1,7	2,0	3,4	-0,3	-1,7
1100	Norte	0,8	1,0	2,7	-0,2	-1,9
1100	Leste	2,0	2,3	3,5	-0,3	-1,5
1200	Norte	0,9	1,2	2,7	-0,3	-1,8
1200	Leste	2,3	2,7	4,1	-0,4	-1,8
1300	Norte	1,0	1,4	3,1	-0,4	-2,1
1300	Leste	2,8	3,1	4,6	-0,3	-1,8
1400	Norte	1,2	1,5	3,2	-0,3	-2,0
1400	Leste	3,3	3,5	4,8	-0,2	-1,5
1500	Norte	1,3	1,7	3,5	-0,4	-2,2
1500	Leste	3,9	3,9	4,9	0,0	-1,0
1600	Norte	1,5	2,0	3,8	-0,5	-2,3
1600	Leste	4,7	4,4	5,9	0,3	-1,2
1700	Norte	1,7	2,2	4,1	-0,5	-2,4
1700	Leste	5,7	5,0	6,6	0,7	-0,9
1800	Norte	2,0	2,5	4,3	-0,5	-2,3
1800	Leste	6,8	5,9	7,2	0,9	-0,4
1900	Norte	2,3	2,8	4,6	-0,5	-2,3
1900	Leste	8,3	7,2	8,1	1,1	0,2
2000	Norte	2,6	3,3	5,0	-0,7	-2,4
2000	Leste	10,0	8,6	9,0	1,4	1,0
2100	Norte	3,0	3,9	5,6	-0,9	-2,6
2100	Leste	12,4	10,5	10,1	1,9	2,3
2200	Norte	3,4	4,7	5,9	-1,3	-2,5
2200	Leste	15,0	12,8	11,5	2,2	3,5

Tabela 19: Resultados de velocidade para a rotatória e diferenças nos valores entre o Sidra Intersection e Aimsun

Fluxo de Referência	Aproximação	Sidra Intersection	Aimsun	≠ Sidra e Aimsun
100	Norte	39,9	43,6	-3,7
100	Leste	40,0	42,9	-2,9
200	Norte	39,8	43,5	-3,7
200	Leste	39,9	43,0	-3,1
300	Norte	39,7	43,2	-3,5
300	Leste	39,8	42,8	-3,0
400	Norte	39,6	43,2	-3,6
400	Leste	39,8	42,7	-2,9
500	Norte	39,5	43,0	-3,5
500	Leste	39,7	42,5	-2,8
600	Norte	39,4	42,9	-3,5
600	Leste	39,6	42,4	-2,8
700	Norte	39,3	42,7	-3,4
700	Leste	39,5	42,2	-2,7
800	Norte	39,3	42,6	-3,3
800	Leste	39,5	42,1	-2,6
900	Norte	39,2	42,4	-3,2
900	Leste	39,4	41,8	-2,4
1000	Norte	39,1	42,3	-3,2
1000	Leste	39,3	41,7	-2,4
1100	Norte	39,0	42,1	-3,1
1100	Leste	39,2	41,4	-2,2
1200	Norte	39,0	42,0	-3,0
1200	Leste	39,2	41,2	-2,0
1300	Norte	38,9	41,6	-2,7
1300	Leste	39,1	41,0	-1,9
1400	Norte	38,8	41,5	-2,7
1400	Leste	39,0	40,7	-1,7
1500	Norte	38,7	41,2	-2,5
1500	Leste	38,9	40,5	-1,6
1600	Norte	38,6	41,0	-2,4
1600	Leste	38,8	40,1	-1,3
1700	Norte	38,5	40,6	-2,1
1700	Leste	38,7	39,7	-1,0
1800	Norte	38,4	40,4	-2,0
1800	Leste	38,6	39,4	-0,8
1900	Norte	38,3	39,9	-1,6
1900	Leste	38,4	38,9	-0,5
2000	Norte	38,2	39,6	-1,4
2000	Leste	38,1	38,3	-0,2
2100	Norte	37,8	39,2	-1,4
2100	Leste	37,6	37,6	0,0
2200	Norte	37,3	38,5	-1,2
2200	Leste	36,9	36,9	0,0

5 CONCLUSÕES

Este trabalho realizou uma análise comparativa entre três *softwares* de análise de tráfego em interseções urbanas. Para fazer a comparação, foram modelados três tipos de interseção em cada *software*, extraídos resultados numéricos para características de atraso, comprimento de fila e velocidade e também registrados resultados de comparação qualitativos sobre a usabilidade dos *softwares*.

Para desenvolver este trabalho foram levantadas técnicas de modelagem existentes, bem como características relevantes a serem analisadas em interseções e quais os dados de entrada necessários para obter os resultados a serem comparados. Como foram utilizadas interseções fictícias, não ocorreram dificuldades relacionadas ao levantamento de dados de entrada necessários em cada modelo. As principais características de entrada das interseções comuns aos modelos foram número de aproximações e faixas, regras de preferência, tempos de verde e amarelo na interseção semaforizada e volume de veículos para cada movimento realizado em uma hora.

Em relação à usabilidade e tempo demandado, cada *software* possui suas particularidades, pontos positivos e negativos. Por este motivo, é importante que o profissional que busca utilizar estas ferramentas tenha um escopo bem definido do estudo a ser realizado, assim as necessidades e prioridades do estudo podem ser relacionadas com os recursos de cada *software*, facilitando a escolha do mais apropriado para cada situação.

O HCS foi a ferramenta que menos demandou tempo, isso é atribuído ao menor tempo demandado na modelagem da geometria e na extração dos resultados. O menor tempo em relação à geometria é devido ao fato de que a interseção não precisa ser desenhada ou selecionada. Essa rapidez pode ser um ponto positivo para o usuário, entretanto, o HCS oferece pouca flexibilidade em relação às características geométricas, sendo que poucas configurações de interseções podem ser modeladas, sendo este um ponto negativo do *software*. Em relação à extração de resultados, eles podem ser feitos na mesma tela do arquivo onde são inseridas as informações da interseção, facilitando esta etapa, porém, os resultados exibidos são menos detalhados dos que os extraídos dos demais *softwares*, além disso, não são fornecidos resultados de velocidade. Em relação à facilidade de modelagem, o HCS foi o segundo *software* mais fácil, sendo que deve ser prestada atenção especialmente nas nomenclaturas das aproximações e movimentos e que o modelo de interseção semaforizada exige uma dedicação maior que nas demais interseções por possuir mais detalhes a serem definidos.

O método do HCM 2010 frequentemente é requisitado em estudos de tráfego, tanto sobre planejamento quanto para análise de operação. O *soft-*

ware HCS facilita a utilização do método, visto que uma vez conhecidos os conceitos do HCM e o funcionamento do HCS, os dados de entrada são inseridos no modelo do HCS e este automatiza os cálculos, diminuindo o tempo demandado para o profissional aplicar o método.

O Sidra Intersection foi o *software* que mais demandou tempo, entretanto um dos motivos para esta diferença foi que em relação ao HCS muitas das configurações e extrações de resultados são executadas em janelas diferentes. O uso da API facilitou o processo de incremento da demanda e extração do resultados, porém, na interseção semaforizada os tempos de verde e amarelo devem ser atualizados diretamente no modelo, não sendo um benefício usar a planilha neste tipo de situação. O Sidra foi o *software* que ficou em primeiro lugar na facilidade de modelagem. Esta facilidade se dá pelo fato de que em muitos aspectos seu uso é intuitivo, facilitando a aprendizagem do mesmo. Entre os benefícios que o Sidra possui e que não estão disponíveis no HCS estão a visualização do desenho da interseção selecionada e uma maior disponibilidade de desenhos de interseções e ajustes para serem realizados, além do detalhamento dos resultados, sendo das interseções como um todo, por aproximação ou movimento.

A demanda de tempo pelo Aimsun foi intermediária em relação aos demais *softwares*. Apesar da modelagem da geometria necessitar de mais tempo por não estarem disponíveis desenhos prontos, o uso dos *scripts* fez com que a inserção e atualização da demanda e tempos semaforicos fossem mais rápidos. Mesmo utilizando os *scripts*, a extração de resultados ainda é a mais demorada, pois é necessário identificar quais as tabelas de saídas serão utilizadas no arquivo *.sqlite* e inserir comandos que acessem as tabelas desejadas, bem como os IDs das aproximações ou movimentos e saídas desejadas. Em relação à facilidade de modelagem o Aimsun foi considerado o menos fácil. Esta colocação foi devido à maior dificuldade na extração dos resultados e ao fato de que todas as interseções e sistemas de controle tiveram que ser criados do zero, tornando a modelagem da geometria a menos simples, porém, uma vez que estão disponíveis tutoriais sobre o desenvolvimento da infraestrutura da malha, o processo pode ser aprendido facilmente. Apesar do uso de *scripts* envolver conhecimentos de programação, o Aimsun possui uma ampla documentação sobre programação, que auxilia o usuário no uso deste recurso.

Um ponto positivo do Aimsun em relação ao HCS é a flexibilidade para poder modelar interseções com desenhos não convencionais e permitir muito mais ajustes de configuração de infraestrutura, além do fato de que assim como no Sidra o desenho da interseção pode ser visualizado. Ao executar a simulação diretamente no *software* é possível visualizar a animação dos veículos interagindo entre si e com a infraestrutura durante a simulação. Este

recurso pode auxiliar o usuário a validar visualmente o modelo, identificar situações de congestionamento na malha e produzir vídeos.

Em relação aos resultados quantitativos, foram comparados os dados de saída dos três *softwares* em cada interseção. Apesar de existirem diferenças na definição de algumas características de saída dos *softwares*, ao analisar os resultados numéricos expostos nas tabelas e nos gráficos foram encontradas semelhanças entre eles.

As diferenças nos resultados de atraso apresentaram uma tendência de serem maiores para fluxos de referência mais altos, principalmente na interseção TWSC. Ainda assim, as curvas de atraso observadas no gráfico da TWSC tiveram inclinações similares para cada aproximação. Os resultados de atraso para a interseção semaforizada foram os que apresentaram as menores diferenças entre as três ferramentas em relação à esta característica nas demais interseções.

Nos resultados de atraso da interseção semaforizada foram obtidos valores maiores de atraso para a via secundária em todos os *softwares*. Seria necessário uma pesquisa aprofundada na literatura e nas equações matemáticas do método de Webster para tentar identificar o motivo desta diferença, a qual não foi realizada neste trabalho devido ao pouco tempo restante. Na rotatória os resultados de atraso para ambas as aproximações obtidos com o Sidra e com o Aimsun foram muito similares, sendo que o HCS apresentou valores de atraso mais altos, principalmente para fluxos de referência mais altos na via principal.

Considerando ambas as aproximações e todos os fluxos de referência, de forma geral os resultados numéricos de comprimento de fila nas três interseções foram os que apresentaram menor diferença entre as três características analisadas e os três softwares. As curvas obtidas para a interseção TWSC tiveram comportamento similares às de atraso nesta interseção, onde a fila é maior na aproximação secundária. Na interseção semaforizada os resultados foram similares exceto para a aproximação principal no Sidra Intersection em fluxos de referência altos. Na rotatória os resultados também foram similares, porém a fila foi maior na aproximação principal, devido ao alto número de veículos em relação à secundária.

A característica velocidade foi possível ser comparada apenas entre o Aimsun e o Sidra Intersection. Na interseção TWSC as curvas de velocidade foram similares na via secundária, com diferenças mais altas na via principal. Os resultados foram mais similares para a rotatória, seguidos pelos resultados obtidos na semaforizada.

Apesar da comparação entre as interseções não ser foco neste trabalho, para fluxos de referência mais altos foi possível observar que a interseção TWSC resultou em atrasos muito maiores que os demais tipos de interseção.

A semaforizada foi a que apresentou os menores atrasos. Os resultados de comprimento de fila também acompanham esta tendência. Para os resultados de velocidade, os menores resultados foram para a TWSC e os maiores para a rotatória.

Como este trabalho utilizou dados fictícios e buscou comparar as saídas dos *softwares*, não é possível identificar através dele qual dos modelos representa de forma mais precisa uma interseção real. Considerando os aspectos analisados, apesar do maior tempo demandado neste estudo, o Sidra Intersection pode ser considerado o *software* mais vantajoso para ser utilizado em análises de interseções. O Sidra possui uma interface gráfica amigável e a visualização do desenho da interseção pode ser utilizada em relatórios e apresentações de estudos sem a necessidade de desenhar a interseção em outras ferramentas. Além dos benefícios já citados, o Sidra implementa também o HCM 2010, podendo ser utilizado quando é requerida uma análise de capacidade e nível de serviço pelo método do HCM, opção não disponível no Aimsun.

Neste trabalho não foram levantadas informações sobre o preço de mercado dos *softwares*, entretanto, através informações coletadas com usuários é possível informar que o custo do Aimsun, mesmo para versões acadêmicas, é muito maior do que o custo dos demais *softwares*. Apesar dos benefícios que um modelo de microsimulação oferece, em projetos de engenharia e em estudos acadêmicos o custo da ferramenta a ser utilizada é de grande relevância e deve ser levado em conta no momento da escolha da ferramenta.

É importante ressaltar que, ao utilizar os *softwares* apresentados neste trabalho com interseções reais devem ser levantados todos dados de entrada necessários, sendo que a precisão do modelo da interseção representada depende diretamente da precisão dos dados de entrada, sendo este um ponto crítico nas análises de tráfego. Além dos dados de demanda, infraestrutura e sistema de controle, devem ser coletados dados para realizar a calibração do modelo com as características locais da interseção.

Como recomendação para trabalhos futuros, ficam as seguintes sugestões:

- Modelar uma interseção real nos *softwares* utilizados neste trabalho;
- A partir da modelagem da interseção real, comparar características de calibração e como elas afetam os resultados;
- Determinar qual *software* apresenta resultados mais próximos aos reais;
- Identificar as dificuldades no levantamento de dados encontradas necessários para cada *software*.

Referências

- AKCELIK & ASSOCIATES. *Sidra Intersection User Guide For Version 7*. Vitória, Austrália, 2016.
- AL-OMARI, B. H.; TA'AMNEH, M. M. Validating HCS and sidra software for estimating delay at signalized intersections in jordan. *Jordan Journal of Civil Engineering*, v. 1, n. 4, 2007.
- BARCELÓ, J. Models, traffic models, simulation, and traffic simulation. In: *Fundamentals of Traffic Simulation*. Barcelona, Espanha: Springer, 2010. p. 1–62. ISBN 978-1-4419-6141-9.
- BRILON, W. Roundabouts: A state of the art in germany. In: *4th International Conference on Roundabout, Transportation Research Board (TRB)*. Seattle, EUA: [s.n.], 2014.
- BURGHOUT, W. Mesoscopic simulation models for short-term prediction. *PREDIKT project report CTR2005*, v. 3, 2005.
- CONTRAN. *Resolução 483.2014 - Manual brasileiro de sinalização de trânsito volume v – sinalização semafórica*. Brasília, DF, 2014.
- CYBIS, W. de A.; BETIOL, A. H.; FAUST, R. *Ergonomia e Usabilidade 3ª edição: Conhecimentos, Métodos e Aplicações*. São Paulo, SP: Novatec Editora, 2015. ISBN 978-85-7522-459-5.
- DENATRAN. *Manual de Semáforos*. 2. ed. Brasília, Distrito Federal, 1984.
- DER-SC. *Utilização e Configuração de Rotatórias em Estradas fora de Áreas Urbanizadas*. Florianópolis, Brasil, 2000.
- DNIT/IPR. *Manual de projetos de interseções*. Rio de Janeiro, 2005.
- DNIT/IPR. *Manual de Estudos de Tráfego*. Rio de Janeiro, 2006.
- ELEFTERIADOU, L. *An Introduction To Traffic Flow Theory*. Nova York, EUA: Springer, 2014. v. 84. (Springer Optimization and Its Applications, v. 84). ISBN 978-1-4614-8435-6.
- ESPADA, I.; BENNETT, P.; LUK, J. *Modelling of signalised intersections: Case study*. 2010.
- ESPADA, I.; LUK, J.; LLOYD, B. *Guidelines for Selecting Techniques for the Modelling of Network Operations*. Sydney, Australia, 2010.

- FHWA. *Traffic Analysis Toolbox Volume I: Traffic Analysis Tools Primer*. Oakland, EUA, 2004.
- FHWA. *Traffic Analysis Toolbox Volume II: Decision Support Methodology for Selecting Traffic Analysis Tools*. Oakland, EUA, 2004.
- FHWA. *Urban intersection design guide: volume 1 – guidelines*. College Station, EUA, 2005.
- GAGNON, C. et al. Calibration potential of common analytical and microsimulation roundabout models: New england case study. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Transportation Research Board of the National Academies, n. 2071, p. 77–86, 2008.
- GOMES, G. *Análise comparativa das características de tráfego calculadas pelo HCM 2010 e pelo microsimulador Aimsun para uma área de estudo em Santa Catarina*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.
- JONES, S. L.; SULLIVAN, A. J.; ANDERSON, M. D. Traffic simulation software comparison study. Birmingham, EUA, 6 2004.
- MACEDO, J. M.; BENTA, A. Seleção da tipologia de uma intersecção utilizando um simulador microscópico de tráfego em um caso de estudo. In: *7 Congresso Rodoviário Português*. Lisboa, Portugal: [s.n.], 2013.
- MAIA, F. V. B. *Calibração e validação de modelos de meso e microsimulação do tráfego para a avaliação de intervenções tático operacionais na malha viária urbana*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Ceará, 2007.
- ORTUZAR, J. D. D.; WILLUMSEN, L. G. *Modelling Transport*. 3. ed. England: John Wiley & Sons, 2001. ISBN 9780470760390.
- PAIVA, D. J. S. *Metodologias para avaliação das condições de circulação em interseções prioritárias*. Dissertação (Mestrado), 2012.
- PORTUGAL, L. da S. *Simulação de Tráfego: Conceitos e Técnicas de Modelagem*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2005. ISBN 85-7193-124-0.
- RANJITKAR, P.; SHAHIN, A.; SHIRWALI, F. Evaluating operational performance of intersections using sidra. *Open Transportation Journal*, v. 8, p. 50–61, 2014.

- RMS. *Traffic Modelling Guidelines*. 1. ed. Australia, 2013.
- RODEGERDTS, L. et al. *Roundabouts: An Informational Guide*. Washington, D.C., 2010.
- SILVA, A. B. et al. Microsimulação aplicada aos estudos de acessibilidade. In: *7 Congresso Rodoviário Português*. Lisboa, Portugal: CRP-Centro Rodoviário Português, 2013.
- SMITH, J.; BLEWITT, R. *Traffic Modelling Guidelines*. 3.0. ed. Londres, 2010.
- STANEK, D. Comparing roundabout capacity analysis methods, or how the selection of analysis method can affect the design. In: *Transportation Research Board 91st Annual Meeting*. Washington, DC: [s.n.], 2012.
- TIANZI, C.; SHAOCHEN, J.; HONGXU, Y. Comparative study of vissim and sidra on signalized intersection. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Elsevier, v. 96, p. 2004–2010, 2013.
- TRB. *Highway Capacity Manual*. [S.l.], 2000.
- TRB. *Highway Capacity Manual Volume 1: Concepts*. 5. ed. Washington, DC, 2010.
- TRB. *Highway Capacity Manual Volume 3: Interrupted Flow*. 5. ed. Washington, DC, 2010.
- TRB. *Highway Capacity Manual Volume 4: Applications Guide: Chapter 31 signalized intersections: Supplemental*. Washington, DC, 2013.
- TREIBER, M.; KESTING, A. *Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation*. [S.l.]: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. ISBN 978-3-642-32460-4.
- TSS. *Aimsun 8 Dynamic Simulators User's Manual*. 8. ed. [S.l.], 2014.
- TSS. *Aimsun 8 Users' Manual*. [S.l.], 2014.
- VASCONCELOS, A. L. P. *Modelos de atribuição/simulação de tráfego: o impacto na qualidade dos resultados de erros no processo de modelação*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Coimbra, 2004.
- VDOT. *Traffic Operations Analysis Tool Guidebook*. 1.1. ed. Richmond, VA, 2013.

VILARINHO, C. A. T. *Calibração de modelos microscópicos de simulação de tráfego em redes urbanas*. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

A Scripts

A.1 Script para calcular a semaforização

```

1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 # =====
3 # Alexandre Hering Coelho
4 # junho de 2017
5 # =====
6 # imports dos módulos de python puro
7 import sys
8 import os
9 import datetime
10 import time
11 import math
12 import sqlite3 as lite
13 # =====
14 # Saídas
15
16 output_file = "semaforizacao.csv"
17
18 # Experimento
19
20 vol_inicial = 100
21 vol_final = 10000
22 incremento = 100
23
24 # Infraestrutura
25
26 SF_BASICO = 1892.0 # veh/htv, assumido largura da aproximação de
    3,5 m
27
28 # =====
29
30 def calculaFSaturacao( volT, vESQ, vDIR ):
31
32     f_esq = float( volT ) / ( float( volT ) + 0.75 * float( vESQ ) )
33
34     f_dir = 1.0
35     propDir = float( vDIR ) / float( volT ) * 100.0
36     if propDir > 10.0:
37         f_dir = float( volT ) / ( float( volT ) + 0.25 * ( float(
            propDir - 10.0 ) / 100.0 * float( volT ) ) )
38
39     return SF_BASICO * f_esq * f_dir
40
41 def dimensionaSemaforo( q0, q1, q2, q3, S0, S1, S2, S3 ):
42
43     amarelo = 3.0 # s
44     t_perdido_fase = 4.0 # I1 = I2 s
45

```

```

46 # estágio 1
47 y1 = float( q0 ) / float( S0 )
48 y3 = float( q2 ) / float( S2 )
49
50 if y1 > y3:
51     y_crit1 = y1
52 else:
53     y_crit1 = y3
54
55 # estágio 2
56 y2 = float( q1 ) / float( S1 )
57 y4 = float( q3 ) / float( S3 )
58
59 if y2 > y4:
60     y_crit2 = y2
61 else:
62     y_crit2 = y4
63
64 sumYcrit = y_crit1 + y_crit2
65
66 if y1 > 1.0 or y2 > 1.0 or y3 > 1.0 or y4 > 1.0 or sumYcrit >
67     1.0:
68     print "y1 = %s" % y1
69     print "y2 = %s" % y2
70     print "y3 = %s" % y3
71     print "y4 = %s" % y4
72     print "sumYcrit = %s" % sumYcrit
73     print "Tempo de processamento total = " + str( datetime.datetime
74         .now() - start_time )
75     sys.exit( 0 )
76
77 tpTotal = 2.0 * t_perdido_fase
78
79 tc_otimo = ( 1.5 * tpTotal + 5.0 ) / ( 1.0 - sumYcrit )
80
81 ge1 = ( y_crit1 / sumYcrit ) * ( tc_otimo - tpTotal )
82 ge2 = ( y_crit2 / sumYcrit ) * ( tc_otimo - tpTotal )
83
84 gf1 = ge1 + t_perdido_fase - amarelo
85 gf2 = ge2 + t_perdido_fase - amarelo
86
87 return tc_otimo, gf1, gf2
88
89 # =====
90 start_time = datetime.datetime.now() # registrando o momento do
91     início do processamento
92
93 output = open( output_file, "w" )
94 output.write( "volume;S_EW;S_NS;ciclo;verde_EW;verde_NS\n" )
95
96 volume = vol_inicial

```

```

95 while volume <= vol_final:
96
97     print "====="
98     print "Processando volume: %s" % volume
99
100    vol_principal = float( volume ) * 0.7
101    vol_secundaria = float( volume ) * 0.3
102
103    vol_EB = vol_WB = vol_principal * 0.5
104    vol_NB = vol_SB = vol_secundaria * 0.5
105
106    vol_EB_left = vol_WB_left = vol_EB * 0.1
107    vol_EB_thru = vol_WB_tru = vol_EB * 0.7
108    vol_EB_right = vol_WB_right = vol_EB * 0.2
109
110    vol_NB_left = vol_SB_left = vol_NB * 0.1
111    vol_NB_thru = vol_SB_thru = vol_NB * 0.7
112    vol_NB_right = vol_SB_right = vol_NB * 0.2
113
114    fS_EB = fS_WB = calculaFSaturacao( vol_EB, vol_EB_left,
115                                       vol_EB_right )
116
117    fS_NB = fS_SB = calculaFSaturacao( vol_NB, vol_NB_left,
118                                       vol_NB_right )
119
120    ciclo, verde_EW, verde_NS = dimensionaSemaforo( vol_EB, vol_NB,
121                                                    vol_WB, vol_SB, fS_EB, fS_NB, fS_WB, fS_SB )
122
123    output.write( "%d;%d;%d;%0.1f;%0.1f;%0.1f\n" % ( volume, fS_EB,
124                                                    fS_NB, ciclo, verde_EW, verde_NS ) )
125
126    volume += incremento
127
128    output.close()
129
130    print "Tempo de processamento total = " + str( datetime.datetime
131                                                    .now() - start_time )

```

A.2 Script HCS 2010 TWSC

```

1 # -*- coding: utf-8 -*-
2
3 import os
4 import xml.etree.ElementTree as ET
5
6 # =====
7
8 hcs_file = "TWSC_HCM.xhu"
9
10 output_file = "resultado_twsc.csv"
11
12 vol_inicial = 100
13 vol_final = 2200

```

```

14 incremento = 100
15 # =====
16
17 def run( input ):
18 os.system( input )
19
20 def get_vol_movimento( input1, input2 ):
21 if input1 == "NB":
22 if input2 == "Left":
23 return vol_NB_left
24 elif input2 == "Thru":
25 return vol_NB_thru
26 elif input2 == "Right":
27 return vol_NB_right
28 if input1 == "SB":
29 if input2 == "Left":
30 return vol_SB_left
31 elif input2 == "Thru":
32 return vol_SB_thru
33 elif input2 == "Right":
34 return vol_SB_right
35 if input1 == "EB":
36 if input2 == "Left":
37 return vol_EB_left
38 elif input2 == "Thru":
39 return vol_EB_thru
40 elif input2 == "Right":
41 return vol_EB_right
42 if input1 == "WB":
43 if input2 == "Left":
44 return vol_WB_left
45 elif input2 == "Thru":
46 return vol_WB_thru
47 elif input2 == "Right":
48 return vol_WB_right
49
50 # =====
51
52 output = open( output_file, "w" )
53 output.write( "metodo,aprox_id,direcao,v_ref,v_ap,atraso,
54             fila_max\n" )
55
56 volume_ref = vol_inicial
57 while volume_ref <= vol_final:
58
59 print "======"
60 print "Processando volume_ref: %s" % volume_ref
61
62 vol_principal = float( volume_ref ) * 0.7
63 vol_secundaria = float( volume_ref ) * 0.3
64
65 vol_EB = vol_WB = vol_principal * 0.5

```

```

65 vol_NB = vol_SB = vol_secundaria * 0.5
66
67 vol_EB_left = vol_WB_left = vol_EB * 0.1
68 vol_EB_thru = vol_WB_thru = vol_EB * 0.7
69 vol_EB_right = vol_WB_right = vol_EB * 0.2
70
71 vol_NB_left = vol_SB_left = vol_NB * 0.1
72 vol_NB_thru = vol_SB_thru = vol_NB * 0.7
73 vol_NB_right = vol_SB_right = vol_NB * 0.2
74
75 tree = ET.parse( hcs_file )
76 intersection = tree.find( "INTERSECTION" )
77 for approach in intersection.iter( "APPROACH" ):
78 #print approach.get( "Direction" )
79 for movement in approach.iter( "MOVEMENT" ):
80 #print movement.get( "ID" )
81 vol_movimento = get_vol_movimento( approach.get( "Direction" ),
      movimento.get( "ID" ) )
82 movement.find( "UnAdjVol" ).text = str( vol_movimento )
83 tree.write( hcs_file )
84
85 run( "Unsignal.exe /b %s" % hcs_file )
86
87 tree = ET.parse( hcs_file )
88 intersection = tree.find( "INTERSECTION" )
89 for approach in intersection.iter( "APPROACH" ):
90 print approach.get( "Direction" )
91 lanegroup = approach.find( "LANEGROUP" )
92 print lanegroup.get( "ID" )
93 vol_ap = lanegroup.find( "AdjVol" ).text
94 los = lanegroup.find( "LOS" ).text
95 atraso = lanegroup.find( "ControlDelay" ).text
96 fila_max = lanegroup.find( "QueueLength95Pct" ).text
97 id_lane_group = lanegroup.get( "ID" )
98 output.write( "hcm_twsc,%s,%s,%s,%s,%s,%s\n" % ( approach.get( "
      Direction" ), id_lane_group, volume_ref, vol_ap, atraso,
      fila_max ) )
99
100 volume_ref += incremento
101
102 output.close()

```

A.3 Script Aimsun TWSC

```

1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 # =====
3
4 # Alexandre Hering Coelho/ Luiza Fert
5 # Setembro de 2016
6 # =====
7
8 # imports dos módulos de python puro

```

```

9  import sys
10 import os
11 import datetime
12 import time
13 import math
14 import sqlite3 as lite
15
16 # imports de outros módulos necessários para o funcionamento do
    Aimsun via script
17 sys.path.append("C:/Python27/Lib")
18 sys.path.append("C:/Python27/Lib/site-packages")
19
20 # imports obrigatórios do Aimsun
21 from PyANGBasic import *
22 from PyANGKernel import *
23 from PyANGConsole import *
24 from PyANGAimsun import *
25
26 # =====
27
28 # VARIÁVEIS
29
30 diretorio = "C:/Users/lab/Desktop/experimento2/Aimsun"
31
32 # Aimsun (modelo)
33
34 aimsun_file = "twsc_aimsun.ang"
35 matriz_id = 365
36 average_id = 377
37
38 # Saídas
39
40 output_SECTION_file = "%s/outputs/twsc_section_turn.csv" %
    diretorio
41
42 # Experimento
43
44 vol_inicial = 100
45 vol_final = 2200
46 incremento = 100
47
48 # =====
49
50 def getCentroid( nome ):
51 return model.getCatalog().findByName( nome, model.getType( "
    GKCentroid" ), False )
52
53 # =====
54
55 sqlite_file = aimsun_file[ 0: len( aimsun_file ) - 3 ] + "sqlite
    "
56

```

```

57 out_SECTION = open( output_SECTION_file, "w" )
58
59 out_SECTION.write( "metodo,aprox_id,v_ref,v_ap,atraso,fila_max,
    speed\n" )
60
61 start_time = datetime.datetime.now() # registrando o momento do
    inicio do processamento
62
63 console = ANGConsole()
64
65 print aimsun_file
66
67 if console.open( aimsun_file ):
68
69     print 'Teste'
70
71 plugin = GKSystem.getSystem().getPlugin( "GGetram" )
72 model = console.getModel()
73
74 average = model.getCatalog().find( average_id )
75 replications = average.getReplications() # lista de replicações
76
77 matriz = model.getCatalog().find( matriz_id )
78
79 volume = vol_inicial
80 while volume <= vol_final:
81
82     print "===== "
83     print "Processando volume: %s" % volume
84
85     vol_principal = float( volume ) * 0.7
86     vol_secundaria = float( volume ) * 0.3
87
88     vol_EB = vol_WB = vol_principal * 0.5
89     vol_NB = vol_SB = vol_secundaria * 0.5
90
91     vol_EB_left = vol_WB_left = vol_EB * 0.1
92     vol_EB_thru = vol_WB_thru = vol_EB * 0.7
93     vol_EB_right = vol_WB_right = vol_EB * 0.2
94
95     vol_NB_left = vol_SB_left = vol_NB * 0.1
96     vol_NB_thru = vol_SB_thru = vol_NB * 0.7
97     vol_NB_right = vol_SB_right = vol_NB * 0.2
98
99     matriz.setTrips( getCentroid( "C_EB" ), getCentroid( "C_SB" ),
    vol_EB_left )
100     matriz.setTrips( getCentroid( "C_EB" ), getCentroid( "C_WB" ),
    vol_EB_thru )
101     matriz.setTrips( getCentroid( "C_EB" ), getCentroid( "C_NB" ),
    vol_EB_right )
102
103     matriz.setTrips( getCentroid( "C_NB" ), getCentroid( "C_EB" ),

```

```

    vol_NB_left )
104 matriz.setTrips( getCentroid( "C_NB" ), getCentroid( "C_SB" ),
    vol_NB_thru )
105 matriz.setTrips( getCentroid( "C_NB" ), getCentroid( "C_WB" ),
    vol_NB_right )
106
107 matriz.setTrips( getCentroid( "C_WB" ), getCentroid( "C_NB" ),
    vol_WB_left )
108 matriz.setTrips( getCentroid( "C_WB" ), getCentroid( "C_EB" ),
    vol_WB_thru )
109 matriz.setTrips( getCentroid( "C_WB" ), getCentroid( "C_SB" ),
    vol_WB_right )
110
111 matriz.setTrips( getCentroid( "C_SB" ), getCentroid( "C_WB" ),
    vol_SB_left )
112 matriz.setTrips( getCentroid( "C_SB" ), getCentroid( "C_NB" ),
    vol_SB_thru )
113 matriz.setTrips( getCentroid( "C_SB" ), getCentroid( "C_EB" ),
    vol_SB_right )
114
115 # Executando as replicações
116 average.resetReplications()
117 for replication in replications:
118     simulator = plugin.createSimulator( model )
119     if simulator.isBusy() == False:
120         simulator.addSimulationTask( GKSimulationTask(replication,
            GKReplication.eBatch ) )
121     print "simulando replicacao %s..." % str( replication.getId() )
122     simu_start_time = datetime.datetime.now()
123     simulator.simulate()
124     print "Tempo de processamento = " + str( datetime.datetime.now()
        - simu_start_time )
125 else:
126     print "simulador busy... terminando"
127     sys.exit( 1 )
128
129 # Tirando a média
130 plugin.calculateResult( average )
131
132 # Peando os resultados do SQLite e jogando no arquivo
133
134 con = lite.connect( sqlite_file )
135 with con:
136     cur = con.cursor()
137
138 # dados da tabela MISECT
139 cur.execute( "SELECT oid,dtime,flow,qmax,speed FROM MISECT WHERE
    oid IN ('329','336') AND did=%s AND sid=0 AND ent=0" %
    average_id )
140 result = cur.fetchall()
141
142 for row in result:

```

```

143 oid = row[0]
144 dtime = row[1]
145 flow = row[2]
146 qmax = row[3]
147 speed = row[4]
148
149 out_SECTION.write( "aimsun_twsc,%s,%s,%s,%s,%s,%s\n" % ( oid,
    volume,flow,dtime,qmax,speed ) )
150
151 # dados da tabela MITURN
152 cur.execute( "SELECT oid,dtime,flow,qmax,speed FROM MITURN WHERE
    oid IN ('349','346') AND did=%s AND sid=0 AND ent=0" %
    average_id )
153 result = cur.fetchall()
154
155 for row in result:
156 oid = row[0]
157 dtime = row[1]
158 flow = row[2]
159 qmax = row[3]
160 speed = row[4]
161
162 out_SECTION.write( "aimsun_twsc,%s,%s,%s,%s,%s,%s\n" % ( oid,
    volume,flow,dtime,qmax,speed ) )
163
164 volume += incremento
165
166 out_SECTION.close()
167
168 print "Tempo de processamento total = " + str( datetime.datetime
    .now() - start_time )

```

A.4 Script Aimsun interseção semaforizada

```

1 # -*- coding: utf-8 -*-
2
3 # =====
4
5 # Alexandre Hering Coelho/ Luiza Fert
6 # Setembro de 2016
7
8 # =====
9
10 # imports dos módulos de python puro
11 import sys
12 import os
13 import datetime
14 import time
15 import math
16 import sqlite3 as lite
17
18 # imports de outros módulos necessários para o funcionamento do

```

```

    Aimsun via script
19 sys.path.append("C:/Python27/Lib")
20 sys.path.append("C:/Python27/Lib/site-packages")
21
22 # imports obrigatórios do Aimsun
23 from PyANGBasic import *
24 from PyANGKernel import *
25 from PyANGConsole import *
26 from PyANGAimsun import *
27 # =====
28
29 # VARIÁVEIS
30
31 diretorio = "C:/Users/lab/Desktop/experimento2/Aimsun"
32
33 # Aimsun (modelo)
34
35 aimsun_file = "signal_aimsun.ang"
36 node_id = 337
37 controlPlan_id = 369
38 matriz_id = 372
39 average_id = 383
40
41 # Saídas
42
43 output_SECTION_file = "%s/outputs/signals_section.csv" %
    diretorio
44
45 # Experimento
46
47 vol_inicial = 100
48 vol_final = 2200
49 incremento = 100
50
51
52 # Infraestrutura
53
54 SF_BASICO = 1892.0 # veh/htv, assumido largura da aproximação de
    3,5 m
55
56 # =====
57
58 def getCentroid( nome ):
59 return model.getCatalog().findByName( nome, model.getType( "
    GKCentroid" ), False )
60
61 def calculaFSaturacao( volt, vESQ, vDIR ):
62
63 f_esq = float( volt ) / ( float( volt ) + 0.75 * float( vESQ ) )
64
65 f_dir = 1.0
66 propDir = float( vDIR ) / float( volt ) * 100.0

```

```

67 if propDir > 10.0:
68     f_dir = float( volT ) / ( float( volT ) + 0.25 * ( float(
        propDir - 10.0 ) / 100.0 * float( volT ) ) )
69
70     return SF_BASICO * f_esq * f_dir
71
72 def dimensionaSemaforo( q0, q1, q2, q3, S0, S1, S2, S3 ):
73
74     amarelo = 3.0 # s
75     t_perdido_fase = 4.0 # I1 = I2 s
76
77     # estágio 1
78     y1 = float( q0 ) / float( S0 )
79     y3 = float( q2 ) / float( S2 )
80
81     if y1 > y3:
82         y_crit1 = y1
83     else:
84         y_crit1 = y3
85
86     # estágio 2
87     y2 = float( q1 ) / float( S1 )
88     y4 = float( q3 ) / float( S3 )
89
90     if y2 > y4:
91         y_crit2 = y2
92     else:
93         y_crit2 = y4
94
95     if y1 > 1.0 or y2 > 1.0 or y3 > 1.0 or y4 > 1.0:
96         print "y1 = %s" % y1
97         print "y2 = %s" % y2
98         print "y3 = %s" % y3
99         print "y4 = %s" % y4
100     out_SYS.close()
101     print "Tempo de processamento total = " + str( datetime.datetime
        .now() - start_time )
102     sys.exit( 0 )
103
104     sumYcrit = y_crit1 + y_crit2
105
106     tpTotal = 2.0 * t_perdido_fase
107
108     tc_otimo = ( 1.5 * tpTotal + 5.0 ) / ( 1.0 - sumYcrit )
109
110     ge1 = ( y_crit1 / sumYcrit ) * ( tc_otimo - tpTotal )
111     ge2 = ( y_crit2 / sumYcrit ) * ( tc_otimo - tpTotal )
112
113     gf1 = ge1 + t_perdido_fase - amarelo
114     gf2 = ge2 + t_perdido_fase - amarelo
115
116     return tc_otimo, gf1, gf2

```

```

117
118 # =====
119
120 sqlite_file = aimsun_file[ 0: len( aimsun_file ) - 3 ] + "sqlite
"
121
122 out_SECTION = open( output_SECTION_file, "w" )
123
124 out_SECTION.write( "metodo,aprox_id,v_ref,v_ap,atraso,fila_max,
speed\n" )
125
126 start_time = datetime.datetime.now() # registrando o momento do
início do processamento
127
128 console = ANGConsole()
129
130 if console.open( aimsun_file ):
131
132 plugin = GKSystem.getSystem().getPlugin( "GGetram" )
133 model = console.getModel()
134
135 average = model.getCatalog().find( average_id )
136 replications = average.getReplications() # lista de replicações
137
138 matriz = model.getCatalog().find( matriz_id )
139
140 node = model.getCatalog().find( node_id )
141 controlPlan = model.getCatalog().find( controlPlan_id )
142 controlJunction = controlPlan.getControlJunction( node.getId() )
143 grupos = node.getSignals()
144
145 volume = vol_inicial
146 while volume <= vol_final:
147
148 print "======"
149 print "Processando volume: %s" % volume
150
151 vol_principal = float( volume ) * 0.7
152 vol_secundaria = float( volume ) * 0.3
153
154 vol_EB = vol_WB = vol_principal * 0.5
155 vol_NB = vol_SB = vol_secundaria * 0.5
156
157 vol_EB_left = vol_WB_left = vol_EB * 0.1
158 vol_EB_thru = vol_WB_thru = vol_EB * 0.7
159 vol_EB_right = vol_WB_right = vol_EB * 0.2
160
161 vol_NB_left = vol_SB_left = vol_NB * 0.1
162 vol_NB_thru = vol_SB_thru = vol_NB * 0.7
163 vol_NB_right = vol_SB_right = vol_NB * 0.2
164
165 matriz.setTrips( getCentroid( "C_EB" ), getCentroid( "C_SB" ),

```

```

        vol_EB_left )
166 matriz.setTrips( getCentroid( "C_EB" ), getCentroid( "C_WB" ),
        vol_EB_thru )
167 matriz.setTrips( getCentroid( "C_EB" ), getCentroid( "C_NB" ),
        vol_EB_right )
168
169 matriz.setTrips( getCentroid( "C_NB" ), getCentroid( "C_EB" ),
        vol_NB_left )
170 matriz.setTrips( getCentroid( "C_NB" ), getCentroid( "C_SB" ),
        vol_NB_thru )
171 matriz.setTrips( getCentroid( "C_NB" ), getCentroid( "C_WB" ),
        vol_NB_right )
172
173 matriz.setTrips( getCentroid( "C_WB" ), getCentroid( "C_NB" ),
        vol_WB_left )
174 matriz.setTrips( getCentroid( "C_WB" ), getCentroid( "C_EB" ),
        vol_WB_thru )
175 matriz.setTrips( getCentroid( "C_WB" ), getCentroid( "C_SB" ),
        vol_WB_right )
176
177 matriz.setTrips( getCentroid( "C_SB" ), getCentroid( "C_WB" ),
        vol_SB_left )
178 matriz.setTrips( getCentroid( "C_SB" ), getCentroid( "C_NB" ),
        vol_SB_thru )
179 matriz.setTrips( getCentroid( "C_SB" ), getCentroid( "C_EB" ),
        vol_SB_right )
180
181 fS_EB = fS_WB = calculaFSaturacao( vol_EB, vol_EB_left,
        vol_EB_right )
182 fS_NB = fS_SB = calculaFSaturacao( vol_NB, vol_NB_left,
        vol_NB_right )
183
184 ciclo, verde_EW, verde_NS = dimensionaSemaforo( vol_EB, vol_NB,
        vol_WB, vol_SB, fS_EB, fS_NB, fS_WB, fS_SB )
185 print verde_EW
186
187 controlJunction.setCycle( int( round( ciclo ) ) )
188 controlJunction.removePhases()
189
190 phase = controlJunction.createPhase()
191 phase.setFrom( 0 )
192 phase.setDuration( int( round( verde_EW ) ) )
193 for grupo in grupos:
194     if grupo.getName() == "Signal 1":
195         phase.addSignal( grupo.getId() )
196
197 phase = controlJunction.createPhase()
198 phase.setFrom( int( round( verde_EW ) ) + 3 )
199 phase.setDuration( int( round( verde_NS ) ) )
200 for grupo in grupos:
201     if grupo.getName() == "Signal 2":
202         phase.addSignal( grupo.getId() )

```

```

203
204 # Executando as replicações
205 average.resetReplications()
206 for replication in replications:
207     simulator = plugin.createSimulator( model )
208     if simulator.isBusy() == False:
209         simulator.addSimulationTask( GKSimulationTask(replication,
210             GKReplication.eBatch ) )
211     print "simulando replicacao %s..." % str( replication.getId() )
212     simu_start_time = datetime.datetime.now()
213     simulator.simulate()
214     print "Tempo de processamento = " + str( datetime.datetime.now()
215         - simu_start_time )
216 else:
217     print "simulador busy... terminando"
218     sys.exit( 1 )
219
220 # Tirando a média
221 plugin.calculateResult( average )
222
223 # Peando os resultados do SQLite e jogando no arquivo
224 con = lite.connect( sqlite_file )
225 with con:
226     cur = con.cursor()
227     # dados da tabela MISECT
228     cur.execute( "SELECT oid,dtime,flow,qmax,speed FROM MISECT WHERE
229         oid IN ('329','336','331','334') AND did=%s AND sid=0 AND
230         ent=0" % average_id )
231     result = cur.fetchall()
232     #out_SECTION.write("%s\n" % (volume))
233
234 for row in result:
235     oid = row[0]
236     dtime = row[1]
237     flow = row[2]
238     qmax = row[3]
239     speed = row[4]
240
241 out_SECTION.write( "aimsun_signal,%s,%s,%s,%s,%s,%s\n" % ( oid,
242     volume,flow,dtime,qmax,speed ) )
243
244 volume += incremento
245
246 out_SECTION.close()
247
248 print "Tempo de processamento total = " + str( datetime.datetime
249     .now() - start_time )

```

A.5 Script Aimsun Rotatória

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
```

```

2
3 # =====
4
5 # Alexandre Hering Coelho/ Luiza Fert
6 # Setembro de 2016
7
8 # =====
9
10 # imports dos módulos de python puro
11 import sys
12 import os
13 import datetime
14 import time
15 import math
16 import sqlite3 as lite
17
18 # imports de outros módulos necessários para o funcionamento do
19     Aimsun via script
20 sys.path.append("C:/Python27/Lib")
21 sys.path.append("C:/Python27/Lib/site-packages")
22
23 # imports obrigatórios do Aimsun
24 from PyANGBasic import *
25 from PyANGKernel import *
26 from PyANGConsole import *
27 from PyANGAimsun import *
28
29 # =====
30 # VARIÁVEIS
31
32 diretorio = "C:/Users/lab/Desktop/experimento2/Aimsun"
33
34 # Aimsun (modelo)
35
36 aimsun_file = "roundabout_aimsun.ang"
37 matriz_id = 371
38 average_id = 380
39
40 # Saídas
41
42 output_SECTION_file = "%s/outputs/roundabout_SECTION.csv" %
43     diretorio
44
45 # Experimento
46
47 vol_inicial = 100
48 vol_final = 2200
49 incremento = 100
50 # =====
51

```

```

52 def getCentroid( nome ):
53 return model.getCatalog().findByName( nome, model.getType( "
    GKCentroid" ), False )
54
55 # =====
56
57 sqlite_file = aimsun_file[ 0: len( aimsun_file ) - 3 ] + "sqlite
    "
58
59 out_SECTION = open( output_SECTION_file, "w" )
60
61 out_SECTION.write( "metodo,aprox_id,v_ref,v_ap,atraso,fila_max,
    speed\n" )
62
63 start_time = datetime.datetime.now() # registrando o momento do
    inicio do processamento
64
65 console = ANGConsole()
66
67 print aimsun_file
68
69 if console.open( aimsun_file ):
70
71 print 'Teste'
72
73 plugin = GKSystem.getSystem().getPlugin( "GGetram" )
74 model = console.getModel()
75
76 average = model.getCatalog().find( average_id )
77 replications = average.getReplications() # lista de replicações
78
79 matriz = model.getCatalog().find( matriz_id )
80
81 volume = vol_inicial
82 while volume <= vol_final:
83
84 print "======"
85 print "Processando volume: %s" % volume
86
87 vol_principal = float( volume ) * 0.7
88 vol_secundaria = float( volume ) * 0.3
89
90 vol_EB = vol_WB = vol_principal * 0.5
91 vol_NB = vol_SB = vol_secundaria * 0.5
92
93 vol_EB_left = vol_WB_left = vol_EB * 0.1
94 vol_EB_thru = vol_WB_thru = vol_EB * 0.7
95 vol_EB_right = vol_WB_right = vol_EB * 0.2
96
97 vol_NB_left = vol_SB_left = vol_NB * 0.1
98 vol_NB_thru = vol_SB_thru = vol_NB * 0.7
99 vol_NB_right = vol_SB_right = vol_NB * 0.2

```

```

100
101 matriz.setTrips( getCentroid( "C_EB" ), getCentroid( "C_SB" ),
    vol_EB_left )
102 matriz.setTrips( getCentroid( "C_EB" ), getCentroid( "C_WB" ),
    vol_EB_thru )
103 matriz.setTrips( getCentroid( "C_EB" ), getCentroid( "C_NB" ),
    vol_EB_right )
104
105 matriz.setTrips( getCentroid( "C_NB" ), getCentroid( "C_EB" ),
    vol_NB_left )
106 matriz.setTrips( getCentroid( "C_NB" ), getCentroid( "C_SB" ),
    vol_NB_thru )
107 matriz.setTrips( getCentroid( "C_NB" ), getCentroid( "C_WB" ),
    vol_NB_right )
108
109 matriz.setTrips( getCentroid( "C_WB" ), getCentroid( "C_NB" ),
    vol_WB_left )
110 matriz.setTrips( getCentroid( "C_WB" ), getCentroid( "C_EB" ),
    vol_WB_thru )
111 matriz.setTrips( getCentroid( "C_WB" ), getCentroid( "C_SB" ),
    vol_WB_right )
112
113 matriz.setTrips( getCentroid( "C_SB" ), getCentroid( "C_WB" ),
    vol_SB_left )
114 matriz.setTrips( getCentroid( "C_SB" ), getCentroid( "C_NB" ),
    vol_SB_thru )
115 matriz.setTrips( getCentroid( "C_SB" ), getCentroid( "C_EB" ),
    vol_SB_right )
116
117 # Executando as replicações
118 average.resetReplications()
119 for replication in replications:
120     simulator = plugin.createSimulator( model )
121     if simulator.isBusy() == False:
122         simulator.addSimulationTask( GKSimulationTask(replication,
            GKReplication.eBatch ) )
123         print "simulando replicacao %s..." % str( replication.getId() )
124         simu_start_time = datetime.datetime.now()
125         simulator.simulate()
126         print "Tempo de processamento = " + str( datetime.datetime.now()
            - simu_start_time )
127     else:
128         print "simulador busy... terminando"
129     sys.exit( 1 )
130
131
132 # Tirando a media
133 plugin.calculateResult( average )
134
135
136 # Peando os resultados do SQLite e jogando no arquivo
137

```

```
138 con = lite.connect( sqlite_file )
139 with con:
140     cur = con.cursor()
141
142     # dados da tabela MISECT
143     cur.execute( "SELECT oid,dtime,flow,qmax,speed FROM MISECT WHERE
144                 oid IN ('329','336','331','334') AND did=%s AND sid=0 AND
145                 ent=0" % average_id )
146     result = cur.fetchall()
147     #out_SECTION.write("%s\n" % (volume))
148
149     for row in result:
150         oid = row[0]
151         dtime = row[1]
152         flow = row[2]
153         qmax = row[3]
154         speed = row[4]
155
156     out_SECTION.write( "aimsun_round,%s,%s,%s,%s,%s,%s\n" % ( oid,
157         volume,flow,dtime,qmax,speed ) )
158
159     volume += incremento
160
161     out_SECTION.close()
162
163     print "Tempo de processamento total = " + str( datetime.datetime
164         .now() - start_time )
```